

10/549285

DOCKET NO.: 278536US26PCT

JC17 Rec'd PCT/PTO 16 SEP 2005

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Kazuyoshi YAMAZAKI, et al.

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HERewith

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/JP03/15679

INTERNATIONAL FILING DATE: December 8, 2003

FOR: SUBSTRATE TREATING APPARATUS AND METHOD OF SUBSTRATE TREATMENT

REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119
AND THE INTERNATIONAL CONVENTION

Commissioner for Patents
Alexandria, Virginia 22313

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

COUNTRY

Japan

APPLICATION NO

2003-072650

DAY/MONTH/YEAR

17 March 2003

Certified copies of the corresponding Convention application(s) were submitted to the International Bureau in PCT Application No. PCT/JP03/15679. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,
OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Steven P. Weihrouch
Attorney of Record
Registration No. 32,829
Surinder Sachar
Registration No. 34,423

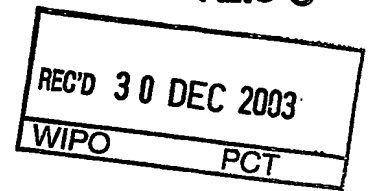
Customer Number

22850

(703) 413-3000
Fax No. (703) 413-2220
(OSMMN 08/03)

PCT/JP03/15679
08.12.03

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 3月17日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-072650
[ST. 10/C]: [JP2003-072650]

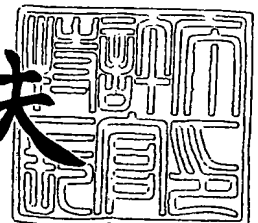
出 願 人
Applicant(s): 東京エレクトロン株式会社

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2003年10月28日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3089072

【書類名】 特許願
【整理番号】 JPP022409
【提出日】 平成15年 3月17日
【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿
【国際特許分類】 H01L 21/318
H01L 21/314
H01L 21/473

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター
東京エレクトロン株式会社内

【氏名】 山崎 和良

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター
東京エレクトロン株式会社内

【氏名】 青山 真太郎

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター
東京エレクトロン株式会社内

【氏名】 井下田 真信

【発明者】

【住所又は居所】 東京都港区赤坂五丁目3番6号 TBS放送センター
東京エレクトロン株式会社内

【氏名】 神力 博

【特許出願人】

【識別番号】 000219967

【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100070150

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊東 忠彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 002989

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書
【発明の名称】 基板処理装置および基板処理方法
【特許請求の範囲】

【請求項 1】 処理空間を画成する処理容器と、
前記処理空間中の被処理基板を保持する回動自在の保持台と、
前記保持台の回動機構と、
前記処理容器上、前記保持台に対して第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成して前記窒素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記被処理基板を隔て対向する第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する窒素ラジカル形成部と、

前記第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成して前記酸素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する酸素ラジカル形成部と、

前記第 2 の側の端部に設けられ、前記処理空間を排気する排気経路とを有し、
前記窒素ラジカルおよび酸素ラジカルは、それぞれ前記窒素ラジカル形成部および酸素ラジカル形成部より前記排気経路に向かって前記被処理基板表面に沿った窒素ラジカル流路および酸素ラジカル流路を形成して流れることを特徴とする基板処理装置。

【請求項 2】 前記窒素ラジカル形成部は、第 1 のガス通路と前記第 1 のガス通路の一部に形成されて前記第 1 のガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する第 1 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記酸素ラジカル形成部は、第 2 のガス通路と前記第 2 のガス通路の一部に形成されて前記第 2 のガス通路を通過する酸素ガスをプラズマ励起する第 2 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記第 1 のガス通路と前記第 2 のガス通路が前記処理空間に連通していることを特徴とする請求項 1 記載の基板処理装置。

【請求項 3】 前記窒素ラジカル流路と前記酸素ラジカル流路が略平行であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の基板処理装置。

【請求項 4】 前記窒素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm 以下となるように前記窒素ラジカル形成部を設置したことを特徴

とする請求項 1～3 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置。

【請求項 5】 前記酸素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm 以下となるように前記酸素ラジカル源を設置したことを特徴とする請求項 1～4 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置。

【請求項 6】 前記窒素ラジカル流路の中心と、前記酸素ラジカル流路の中心が、前記被処理基板の略中心で交差することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の基板処理装置。

【請求項 7】 前記窒素ラジカル流路を衝突させて前記窒素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求項 1～6 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置。

【請求項 8】 前記酸素ラジカル流路を衝突させて前記酸素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求項 1～7 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置。

【請求項 9】 処理空間を画成し、前記処理空間中に被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、

前記処理容器に第 1 のラジカルを、前記第 1 のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記処理容器の第 1 の側から前記被処理基板を隔てて対向する第 2 の側に流れるように供給する第 1 のラジカル形成部と、

前記処理空間に第 2 のラジカルを、前記第 2 のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側に流れるように供給する第 2 のラジカル形成部とを有する基板処理装置による基板処理方法であって、

前記第 1 のラジカル形成部より前記処理空間に第 1 のラジカルを供給して前記被処理基板の処理を行いながら、前記第 2 のラジカル形成部より前記第 2 のラジカル形成部をパージするパージガスを前記処理空間に導入する第 1 の工程と、

前記第 2 のラジカル形成部より前記処理空間に前記第 2 のラジカルを導入して前記被処理基板の処理を行う第 2 の工程を有することを特徴とする基板処理方法。

【請求項 10】 前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第 1 の工程では前記第 1 のラジカルである酸素ラジカルで前記シリコン基板表面を酸化して酸

化膜を形成することを特徴とする請求項 9 記載の基板処理方法。

【請求項 11】 前記第 2 の工程では前記第 2 のラジカルである窒素ラジカルで前記酸化膜表面を窒化して酸窒化膜を形成することを特徴とする請求項 10 記載の基板処理方法。

【請求項 12】 前記第 1 のラジカルおよび第 2 のラジカルは、前記被処理基板の表面にそって前記第 1 の側から前記第 2 の側へ流れるガスの流れに乗って供給され、前記第 2 の側で排気されることを特徴とする請求項 9～11 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 13】 前記第 1 のラジカル形成部は、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成することを特徴とする請求項 9～12 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 14】 前記第 1 のラジカル形成部は、酸素ラジカルを形成する紫外光源を含むことを特徴とする請求項 9～12 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 15】 前記第 2 のラジカル形成部は、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成することを特徴とする請求項 9～14 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 16】 前記第 2 のラジカル形成部は、ガス通路と、前記ガス通路の一部に形成されて前記ガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する高周波プラズマ形成部とを含むことを特徴とする請求項 15 記載の基板処理方法。

【請求項 17】 前記パージガスは、前記ガス通路を介して供給されることを特徴とする請求項 16 記載の基板処理方法。

【請求項 18】 前記パージガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求項 9～17 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 19】 処理容器で被処理基板の第 1 の処理をする第 1 の工程と、前記被処理基板を前記処理容器より搬出する第 2 の工程と、前記処理容器の酸素除去処理を行う第 3 の工程と、前記被処理基板を前記処理容器に搬入する第 4 の工程と、前記被処理基板の第 2 の処理をする第 5 の工程を有することを特徴とする基板

処理方法。

【請求項 20】 前記酸素除去処理では、処理ガスをプラズマ励起して前記処理容器に導入し、当該処理ガスを前記処理容器より排気することを特徴とする請求項 19 記載の基板処理方法。

【請求項 21】 前記処理ガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求項 20 記載の基板処理方法。

【請求項 22】 前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第 1 の処理は前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成する酸化処理であることを特徴とする請求項 19～21 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 23】 前記第 2 の処理は、前記酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する窒化処理であることを特徴とする請求項 22 記載の基板処理方法。

【請求項 24】 前記処理容器は酸素ラジカル形成部と窒素ラジカル形成部を有し、前記酸素ラジカル形成部により形成された酸素ラジカルにより前記酸化処理を行い、前記窒素ラジカル形成部により形成された窒素ラジカルにより前記窒化処理を行うことを特徴とする請求項 23 記載の基板処理方法。

【請求項 25】 前記プラズマ励起は、前記窒素ラジカル形成部で行われ、プラズマ励起された処理ガスは前記窒素ラジカル形成部より前記処理容器に導入されることを特徴とする請求項 24 記載の基板処理方法。

【請求項 26】 前記酸素ラジカルおよび前記窒素ラジカルは前記被処理基板に沿うように流れ、前記処理容器の、前記処理容器内に載置される被処理基板の径方向上前記酸素ラジカル形成部および前記窒素ラジカル形成部に対向する側に設けられた、排気口より排気されることを特徴とする請求項 24 または 25 記載の基板処理方法。

【請求項 27】 前記処理容器は、複数の基板処理装置が基板搬送室に接続されたクラスタ型基板処理システムに接続されることを特徴とする請求項 19～26 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【請求項 28】 前記第 2 の工程において、前記被処理基板は前記処理容器より前記基板搬送室に搬送されることを特徴とする請求項 27 記載の基板処理方法。

【請求項 29】 前記第 3 の工程において、前記被処理基板は前記基板搬送室に載置されることを特徴とする請求項 27 または 28 記載の基板処理方法。

【請求項 30】 前記第 4 の工程において、前記被処理基板は前記搬送室より前記基板処理容器に搬送されることを特徴とする請求項 27～29 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は基板処理装置および基板処理方法に係り、さらには高誘電体膜を有する、超微細化高速半導体装置の製造方法に関する。

【0002】

今日の超高速半導体装置では、微細化プロセスの進歩とともに、 $0.1\mu\text{m}$ 以下のゲート長が可能になりつつある。一般に微細化とともに半導体装置の動作速度は向上するが、このように非常に微細化された半導体装置では、ゲート絶縁膜の膜厚を、微細化によるゲート長の短縮に伴って、スケーリング則に従って減少させる必要がある。

【0003】

【従来の技術】

しかしゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下になると、ゲート絶縁膜の厚さも、従来の熱酸化膜を使った場合、 $1\sim 2\text{nm}$ 、あるいはそれ以下に設定する必要があるが、このように非常に薄いゲート絶縁膜ではトンネル電流が増大し、その結果ゲートリーク電流が増大する問題を回避することができない。

【0004】

このような事情で、比誘電率が従来の熱酸化膜のものよりもはるかに大きく、このため実際の膜厚が大きくても SiO_2 膜に換算した場合の膜厚が小さい Ta_2O_5 や Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、さらには ZrSiO_4 あるいは HfSiO_4 のような高誘電体材料（いわゆる high-K 材料）をゲート絶縁膜に対して適用することが提案されている。このような高誘電体材料を使うことにより、ゲート長が $0.1\mu\text{m}$ 以下と、非常に短い超高速半導体装置においても 10nm 程度

の物理的膜厚のゲート絶縁膜を使うことができ、トンネル効果によるゲートリーク電流を抑制することができる。

【0005】

例えば従来より Ta_2O_5 膜は $Ta(OC_2H_5)_5$ および O_2 を気相原料とした CVD 法により形成できることが知られている。典型的な場合、CVD プロセスは減圧環境下、約 $480^\circ C$ 、あるいはそれ以上の温度で実行される。このようにして形成された Ta_2O_5 膜は、さらに酸素雰囲気中において熱処理され、その結果、膜中の酸素欠損が解消され、また膜自体が結晶化する。このようにして結晶化された Ta_2O_5 膜は大きな比誘電率を示す。

【0006】

チャネル領域中のキャリアモビリティを向上させる観点からは、高誘電体ゲート酸化膜とシリコン基板との間に、 1 nm 以下、好ましくは 0.8 nm 以下の厚さのきわめて薄いベース酸化膜を介在させるのが好ましい。ベース酸化膜は非常に薄い必要があり、厚さが厚いと高誘電体膜をゲート絶縁膜に使った効果が相殺される。一方、かかる非常に薄いベース酸化膜は、シリコン基板表面を一様に覆う必要があり、また界面準位等の欠陥を形成しないことが要求される。

【0007】

従来より、薄いゲート酸化膜はシリコン基板の急速熱酸化 (RTO) 処理により形成されるのが一般的であるが、熱酸化膜を所望の 1 nm 以下の厚さに形成しようとする、膜形成時の処理温度を低下させる必要がある。しかし、このように低温で形成された熱酸化膜は界面準位等の欠陥を含みやすく、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜としては不適當である。

【0008】

【非特許文献 1】

Bruce E. Deal, J. Electrochem. Soc. 121.198C(1974)

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、ベース酸化膜を 1 nm 以下、例えば 0.8 nm 以下、さらには $0.3 \sim 0.4\text{ nm}$ 前後の厚さで一様に、かつ安定に形成するのは、従来より非常に困

難であった。例えば膜厚が0.3～0.4 nmの場合、酸化膜は2～3原子層分の膜厚しか有さないことになる。

【0010】

また、従来より、原子間結合価数が大きく、いわば「剛性の高い」シリコン単結晶基板表面に直接に、原子間結合価数の小さい、いわば「剛性の低い」金属酸化膜を形成すると、シリコン基板と金属酸化膜の界面が力学的に不安定になり欠陥を発生させる可能性が指摘されており（例えばG. Lucovisky, et al., Appl. Phys. Lett. 74, pp.2005, 1999）、この問題を回避するために、シリコン基板と金属酸化膜との界面に窒素を1原子層分導入した酸窒化層を遷移層として形成することが提案されている。また、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜として、このように酸窒化膜を形成することは、高誘電体ゲート絶縁膜中の金属元素あるいは酸素とシリコン基板を構成するシリコンとの相互拡散を抑制したり、電極からのドーパントの拡散を抑制するのにも有効であると考えられる。

【0011】

図1には、シリコン基板に酸化膜を形成した後、酸窒化膜を形成する基板処理装置100の例を示す。

【0012】

図1を参照するに、ドライポンプなどの排気手段104が接続された排気口103によって内部を排気される処理容器101を有する基板処理装置100は、その内部に被処理基板であるウェハW0を保持する基板保持台を有している。

【0013】

基板保持台102に載置されたウェハW0は、処理容器101側壁面上に設けられたリモートプラズマラジカル源105から供給されるラジカルにより、酸化もしくは窒化されて、ウェハW0上に酸化膜もしくは酸窒化膜を形成する。

【0014】

前記リモートプラズマラジカル源は、高周波プラズマにより、酸素ガスもしくは窒素ガスを解離して酸素ラジカルもしくは窒素ラジカルをウェハW0上に供給する。

【0015】

このような酸窒化膜を形成するにあたり、処理容器でシリコン基板を酸化した後に、当該処理容器で窒化処理を行う場合には、前記処理容器中などに残存する酸素や水分などの微量の不純物の影響が無視できなくなり、窒化処理の際に酸化反応を生じ、酸化膜を増膜させてしまうおそれがある。このように酸窒化処理の際に酸化膜が増膜してしまうと、高誘電体ゲート絶縁膜を使う効果は相殺されてしまう。

【0016】

従来より、このように非常に薄い酸窒化膜を安定に、再現性良く、しかも酸化による増膜を伴うことなく窒化するのは、非常に困難であった。

【0017】

また、酸素ラジカルを生成する酸素ラジカル生成部と窒素ラジカルを生成する窒素ラジカル生成部を分離した基板処理装置も提案されている。

【0018】

図2には、ラジカル生成部を2つ有する基板処理装置110の例を示す。

【0019】

図2を参照するに、ドライポンプなどの排気手段120が接続された排気口119によって内部を排気され、基板保持台118が設けられた処理容器111を有する基板処理装置110は、基板保持台118に載置されたウェハW0を、酸素ラジカルによって酸化し、その後窒素ラジカルによって窒化することが可能な構造となっている。

【0020】

前記処理容器111には、上壁部に紫外光源113および紫外光を透過する透過窓114が設けられ、ノズル115から供給される酸素ガスを紫外光によって解離して酸素ラジカルを生成する構造となっている。

【0021】

このようにして形成された酸素ラジカルによって、シリコン基板表面が酸化されて酸化膜を形成する。

【0022】

さらに、前記処理容器111の側壁にはリモートプラズマラジカル源116が

設置され、高周波プラズマによって窒素ガスを解離して、窒素ラジカルを前記処理容器 111 に供給して、ウェハ W0 上の酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。

【0023】

このように、酸素ラジカル生成部と、窒素ラジカル生成部を分離した基板処理装置が提案されている。このような基板処理装置を使うことにより、シリコン基板上に、膜厚が 0.4 nm 前後の酸化膜を形成し、これをさらに窒化して酸窒化膜を形成することが可能となっている。

【0024】

一方、このようなシリコン基板の酸化処理と窒化処理を連続して行う基板処理装置において、酸化処理と窒化処理とをリモートプラズマラジカル源を使って行いたいとの要望がある。

【0025】

また、図 2 の基板処理装置を使った場合でも、前記した残留酸素の影響を抑えて酸化による増膜の影響を極力排除するには、酸化処理の後、例えば処理容器内を真空排気して、不活性ガスで満たし、さらに真空排気と不活性ガスを満たす作業を繰り返すパージ作業など、残留酸素の低減のための処理が必要となり、スループットが低下してしまい、生産性が低下してしまうという問題があった。

【0026】

そこで本発明は上記の課題を解決した、新規で有用な基板処理装置および基板処理方法を提供することを概括的課題とする。

【0027】

本発明の具体的な課題は、シリコン基板表面に非常に薄い、典型的には 2～4 原子層分以下の厚さの酸化膜を形成し、さらにこれを窒化して、当該窒化の際に前記酸化膜の増膜量を抑制して酸窒化膜を形成することのできる、生産性の良好である、基板処理装置および基板処理方法を提供することにある。

【0028】

【課題を解決するための手段】

本発明では、上記の課題を解決するために、

請求項 1 に記載したように、

処理空間を画成する処理容器と、

前記処理空間中の被処理基板を保持する回動自在の保持台と、

前記保持台の回動機構と、

前記処理容器上、前記保持台に対して第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成して前記窒素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記被処理基板を隔て対向する第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する窒素ラジカル形成部と、

前記第 1 の側の端部に設けられた、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成して前記酸素ラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側に流れるように前記処理空間に供給する酸素ラジカル形成部と、

前記第 2 の側の端部に設けられ、前記処理空間を排気する排気経路とを有し、

前記窒素ラジカルおよび酸素ラジカルは、それぞれ前記窒素ラジカル形成部および酸素ラジカル形成部より前記排気経路に向かって前記被処理基板表面に沿った窒素ラジカル流路および酸素ラジカル流路を形成して流れることを特徴とする基板処理装置により、また、

請求項 2 に記載したように、

前記窒素ラジカル形成部は、第 1 のガス通路と前記第 1 のガス通路の一部に形成されて前記第 1 のガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する第 1 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記酸素ラジカル形成部は、第 2 のガス通路と前記第 2 のガス通路の一部に形成されて前記第 2 のガス通路を通過する酸素ガスをプラズマ励起する第 2 の高周波プラズマ形成部とを含み、前記第 1 のガス通路と前記第 2 のガス通路が前記処理空間に連通していることを特徴とする請求項 1 記載の基板処理装置により、また、

請求項 3 に記載したように、

前記窒素ラジカル流路と前記酸素ラジカル流路が略平行であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の基板処理装置により、また、

請求項 4 に記載したように、

前記窒素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm 以

下となるように前記窒素ラジカル形成部を設置したことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置により、また、
請求項 5 に記載したように、

前記酸素ラジカル流路の中心と、前記被処理基板の中心の距離が、40 mm 以下となるように前記酸素ラジカル源を設置したことを特徴とする請求項 1 ～ 4 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置により、また、
請求項 6 に記載したように、

前記窒素ラジカル流路の中心と、前記酸素ラジカル流路の中心が、前記被処理基板の略中心で交差することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の基板処理装置により、また、

請求項 7 に記載したように、

前記窒素ラジカル流路を衝突させて前記窒素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 6 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置により、また、

請求項 8 に記載したように、

前記酸素ラジカル流路を衝突させて前記酸素ラジカル流路の向きを変更する整流板を設けたことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理装置により、また、

請求項 9 に記載したように、

処理空間を画成し、前記処理空間中に被処理基板を保持する保持台を備えた処理容器と、

前記処理容器に第 1 のラジカルを、前記第 1 のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記処理容器の第 1 の側から前記被処理基板を隔てて対向する第 2 の側に流れるように供給する第 1 のラジカル形成部と、

前記処理空間に第 2 のラジカルを、前記第 2 のラジカルが前記被処理基板表面に沿って前記第 1 の側から前記第 2 の側に流れるように供給する第 2 のラジカル形成部とを有する基板処理装置による基板処理方法であって、

前記第 1 のラジカル形成部より前記処理空間に第 1 のラジカルを供給して前記被処理基板の処理を行いながら、前記第 2 のラジカル形成部より前記第 2 のラジ

カル形成部をパージするパージガスを前記処理空間に導入する第1の工程と、

前記第2のラジカル形成部より前記処理空間に前記第2のラジカルを導入して前記被処理基板の処理を行う第2の工程を有することを特徴とする基板処理方法により、また、

請求項10に記載したように、

前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第1の工程では前記第1のラジカルである酸素ラジカルで前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成することを特徴とする請求項9記載の基板処理方法により、また、

請求項11に記載したように、

前記第2の工程では前記第2のラジカルである窒素ラジカルで前記酸化膜表面を窒化して酸窒化膜を形成することを特徴とする請求項10記載の基板処理方法により、また、

請求項12に記載したように、

前記第1のラジカルおよび第2のラジカルは、前記被処理基板の表面にそって前記第1の側から前記第2の側へ流れるガスの流れに乗って供給され、前記第2の側で排気されることを特徴とする請求項9～11のうち、いずれか1項記載の基板処理方法により、また、

請求項13に記載したように、

前記第1のラジカル形成部は、高周波プラズマにより酸素ラジカルを形成することを特徴とする請求項9～12のうち、いずれか1項記載の基板処理方法により、また、

請求項14に記載したように、

前記第1のラジカル形成部は、酸素ラジカルを形成する紫外光源を含むことを特徴とする請求項9～12のうち、いずれか1項記載の基板処理方法により、また、

請求項15に記載したように、

前記第2のラジカル形成部は、高周波プラズマにより窒素ラジカルを形成することを特徴とする請求項9～14のうち、いずれか1項記載の基板処理方法により、また、

請求項 16 に記載したように、

前記第 2 のラジカル形成部は、ガス通路と、前記ガス通路の一部に形成されて前記ガス通路を通過する窒素ガスをプラズマ励起する高周波プラズマ形成部とを含むことを特徴とする請求項 15 記載の基板処理方法により、また、

請求項 17 に記載したように、

前記パージガスは、前記ガス通路を介して供給されることを特徴とする請求項 16 記載の基板処理方法により、また、

請求項 18 に記載したように、

前記パージガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求項 9～17 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法により、また、

請求項 19 に記載したように、

処理容器で被処理基板の第 1 の処理をする第 1 の工程と、
前記被処理基板を前記処理容器より搬出する第 2 の工程と、
前記処理容器の酸素除去処理を行う第 3 の工程と、
前記被処理基板を前記処理容器に搬入する第 4 の工程と、
前記被処理基板の第 2 の処理をする第 5 の工程を有することを特徴とする基板処理方法により、また、

請求項 20 に記載したように、

前記酸素除去処理では、処理ガスをプラズマ励起して前記処理容器に導入し、当該処理ガスを前記処理容器より排気することを特徴とする請求項 19 記載の基板処理方法により、また、

請求項 21 に記載したように、

前記処理ガスは、不活性ガスであることを特徴とする請求項 20 記載の基板処理方法により、また、

請求項 22 に記載したように、

前記被処理基板はシリコン基板であり、前記第 1 の処理は前記シリコン基板表面を酸化して酸化膜を形成する酸化処理であることを特徴とする請求項 19～21 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法により、また、

請求項 23 に記載したように、

前記第 2 の処理は、前記酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する窒化処理であることを特徴とする請求項 22 記載の基板処理方法により、また、

請求項 24 に記載したように、

前記処理容器は酸素ラジカル形成部と窒素ラジカル形成部を有し、前記酸素ラジカル形成部により形成された酸素ラジカルにより前記酸化処理を行い、前記窒素ラジカル形成部により形成された窒素ラジカルにより前記窒化処理を行うことを特徴とする請求項 23 記載の基板処理方法により、また、

請求項 25 に記載したように、

前記プラズマ励起は、前記窒素ラジカル形成部で行われ、プラズマ励起された処理ガスは前記窒素ラジカル形成部より前記処理容器に導入されることを特徴とする請求項 24 記載の基板処理方法により、また、

請求項 26 に記載したように、

前記酸素ラジカルおよび前記窒素ラジカルは前記被処理基板に沿うように流れ、前記処理容器の、前記処理容器内に載置される被処理基板の径方向上前記酸素ラジカル形成部および前記窒素ラジカル形成部に対向する側に設けられた、排気口より排気されることを特徴とする請求項 24 または 25 記載の基板処理方法により、また、

請求項 27 に記載したように、

前記処理容器は、複数の基板処理装置が基板搬送室に接続されたクラスタ型基板処理システムに接続されることを特徴とする請求項 19～26 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法により、また、

請求項 28 に記載したように、

前記第 2 の工程において、前記被処理基板は前記処理容器より前記基板搬送室に搬送されることを特徴とする請求項 27 記載の基板処理方法により、また、

請求項 29 に記載したように、

前記第 3 の工程において、前記被処理基板は前記基板搬送室に載置されることを特徴とする請求項 27 または 28 記載の基板処理方法により、また、

請求項 30 に記載したように、

前記第 4 の工程において、前記被処理基板は前記搬送室より前記基板処理容器

に搬送されることを特徴とする請求項 27～29 のうち、いずれか 1 項記載の基板処理方法により、解決する。

【0029】

本発明によれば、処理容器でシリコン基板上に非常に薄いベース酸化膜を、酸窒化膜を含めて形成する際に、ベース酸化膜形成時に用いた酸素や酸素化合物などの残留物が、酸窒化膜形成時にシリコン基板の酸化を進行させてベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、さらに生産性も良好となる。

【0030】

その結果、半導体装置において用いる場合に適切な非常に薄いベース酸化膜と、当該ベース酸化膜上の適切な窒素濃度の酸窒化膜を、良好な生産性で形成することが可能となる。

【0031】

【発明の実施の形態】

次に、本発明の実施の形態を図面に基づき、説明する。

【0032】

まず、本発明による基板処理装置および基板処理方法によって形成される半導体装置の例を図 3 に示す。

【0033】

図 3 を参照するに、半導体装置 200 はシリコン基板 201 上に形成されており、シリコン基板 201 上には薄いベース酸化膜 202 を介して、 Ta_2O_5 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 $ZrSiO_4$ 、 $HfSiO_4$ 等の高誘電体ゲート絶縁膜 203 が形成され、さらに前記高誘電体ゲート絶縁膜 203 上にはゲート電極 204 が形成されている。

【0034】

図 3 の半導体装置 200 では、前記ベース酸化膜 202 の表面部分に、シリコン基板 201 とベース酸化膜 202 との間の界面の平坦性が保たれるような範囲で窒素 (N) がドーピングされ、酸窒化膜 202A が形成されている。シリコン酸化膜よりも比誘電率の大きい酸窒化膜 202A をベース酸化膜 202 中に形成することにより、ベース酸化膜 202 の熱酸化膜換算膜厚をさらに減少させることが

可能になる。

【0035】

以下に、処理容器で前記ベース酸化膜 202 形成後に、当該処理容器で当該酸化膜 202A を形成する際に、前記処理容器中などに残存する酸素や水分などの微量の不純物の影響を排除することにより、酸化処理の際に酸化反応による酸化膜の増膜を抑制でき、かつ効率的な基板処理が可能な、本発明による基板処理装置および基板処理方法に関して説明する。

〔第 1 実施例〕

図 4 は、図 3 のシリコン基板 201 上に非常に薄いベース酸化膜 202 を、酸化膜 202A を含めて形成するための、本発明の第 1 実施例による基板処理装置 20 の概略的構成を示す。

【0036】

図 4 を参照するに、基板処理装置 20 は、ヒータ 22A を備えプロセス位置と基板搬入・搬出位置との間を上下動自在に設けられた基板保持台 22 を収納し、前記基板保持台 22 と共に処理空間 21B を画成する処理容器 21 を備えており、前記基板保持台 22 は駆動機構 22C により回転される。なお、前記処理容器 21 の内壁面は石英ガラスよりなる内部ライナ 21G により覆われており、これにより、露出金属面からの被処理基板の金属汚染を 1×10^{10} 原子/cm² 以下のレベルに抑制している。

【0037】

また前記基板保持台 22 と駆動機構 22C との結合部には磁気シール 28 が形成され、磁気シール 28 は真空環境に保持される磁気シール室 22B と大気環境中に形成される駆動機構 22C とを分離している。磁気シール 28 は液体であるため、前記基板保持台 22 は回転自在に保持される。

【0038】

図示の状態では、前記基板保持台 22 はプロセス位置にあり、下側に被処理基板の搬入・搬出のための搬入・搬出室 21C が形成されている。前記処理容器 21 はゲートバルブ 27A を介して基板搬送ユニット 27 に結合されており、前記基板保持台 22 が搬入・搬出 21C 中に下降した状態において、前記ゲートバル

ブ 27A を介して基板搬送ユニット 27 から被処理基板 W が基板保持台 22 上に搬送され、また処理済みの基板 W が基板保持台 22 から基板搬送ユニット 27 に搬送される。

【0039】

図 4 の基板処理装置 20 では、前記処理容器 21 のゲートバルブ 27A に近い部分に排気口 21A が形成されており、前記排気口 21A にはバルブ 23A および APC (自動圧力制御装置) 23D を介してターボ分子ポンプ 23B が結合されている。前記ターボ分子ポンプ 23B には、さらにドライポンプおよびメカニカルブースターポンプを結合して構成したポンプ 24 がバルブ 23C を介して結合されており、前記ターボ分子ポンプ 23B およびドライポンプ 24 を駆動することにより、前記処理空間 21B の圧力を $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ ($10^{-3} \sim 10^{-6} \text{ Torr}$) まで減圧することが可能になる

一方、前記排気口 21A はバルブ 24A および APC 24B を介して直接にもポンプ 24 に結合されており、前記バルブ 24A を開放することにより、前記プロセス空間は、前記ポンプ 24 により $1.33 \text{ Pa} \sim 1.33 \text{ kPa}$ ($0.01 \sim 10 \text{ Torr}$) の圧力まで減圧される。

【0040】

前記処理容器 21 には前記被処理基板 W に対して排気口 21A と対向する側にリモートプラズマ源 26 および 36 が設置されている。

【0041】

前記リモートプラズマ源 36 は、Ar などの不活性ガスと共に酸素ガスが供給され、これをプラズマにより活性化することにより、酸素ラジカルを形成することが可能である。このようにして形成された酸素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、回動している基板表面を酸化する。

【0042】

これにより、前記被処理基板 W の表面に、1 nm 以下の膜厚の、特に 2 ~ 3 原子層分の厚さに相当する約 0.4 nm の膜厚のラジカル酸化膜を形成することが可能になる。

【0043】

図4の基板処理装置20では、さらに前記搬入・搬出室21Cを窒素ガスによりパージするパージライン21cが設けられ、さらに前記磁気シール室22Bを窒素ガスによりパージするパージライン22bおよびその排気ライン22cが設けられている。

【0044】

より詳細に説明すると、前記排気ライン22cにはバルブ29Aを介してターボ分子ポンプ29Bが結合され、前記ターボ分子ポンプ29Bはバルブ29Cを介してポンプ24に結合されている。また、前記排気ライン22cはポンプ24とバルブ29Dを介しても直接に結合されており、これにより磁気シール室22Bを様々な圧力に保持することが可能になる。

【0045】

前記搬入・搬出室21Cはポンプ24によりバルブ24Cを介して排気され、あるいはターボ分子ポンプ23Bによりバルブ23Dを介して排気される。前記処理空間21B中において汚染が生じるのを回避するために、前記搬入・搬出室21Cは処理空間21Bよりも低圧に維持され、また前記磁気シール室22Bは差動排気されることで前記搬入・搬出室21Cよりもさらに低圧に維持される。

【0046】

次に、本基板処理装置で用いるリモートプラズマ源26および36の詳細に関して以下に説明する。

【0047】

図5は、図4の基板処理装置20において使われるリモートプラズマ源26および36の構成を示す。前記処理容器21には、リモートプラズマ源26とリモートプラズマ源36が隣接して設置されている。例えば、前記リモートプラズマ源36は、前記リモートプラズマ源26に対して、隣接した面に対して略線対称の形状をしている。

【0048】

図5を参照するに、まず、リモートプラズマ源26は、内部にガス循環通路26aとこれに連通したガス入り口26bおよびガス出口26cを形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック26Aを含み、前記ブロック26Aの一

部にはフェライトコア 26 B が形成されている。

【0049】

前記ガス循環通路 26 a およびガス入り口 26 b、ガス出口 26 c の内面にはフッ素樹脂コーティング 26 d が施され、前記フェライトコア 26 B に巻回されたコイルに周波数が 400 kHz の高周波 (RF) パワーを供給することにより、前記ガス循環通路 26 a 内にプラズマ 26 C が形成される。

【0050】

プラズマ 26 C の励起に伴って、前記ガス循環通路 26 a 中には窒素ラジカルおよび窒素イオンが形成されるが、直進性の強い窒素イオンは前記循環通路 26 a を循環する際に消滅し、前記ガス出口 26 c からは主に窒素ラジカル N_2^* が放出される。さらに図 5 の構成では前記ガス出口 26 c に接地されたイオンフィルタ 26 e を設けることにより、窒素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記処理空間 21 B には窒素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ 26 e を接地させない場合においても、前記イオンフィルタ 26 e の構造は拡散板として作用するため、十分に窒素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することができる。なお、大量の N_2 ラジカルを必要とするプロセスを実行する場合においては、イオンフィルタ 26 e での N_2 ラジカルの衝突による消滅を防ぐため、イオンフィルタ 26 e を取り外す場合もある。

【0051】

同様に、前記リモートプラズマ源 36 は、内部にガス循環通路 36 a とこれに連通したガス入り口 36 b およびガス出口 36 c を形成された、典型的にはアルミニウムよりなるブロック 36 A を含み、前記ブロック 36 A の一部にはフェライトコア 36 B が形成されている。

【0052】

前記ガス循環通路 36 a およびガス入り口 36 b、ガス出口 36 c の内面にはフッ素樹脂コーティング 36 d が施され、前記フェライトコア 36 B に巻回されたコイルに周波数が 400 kHz の高周波 (RF) パワーを供給することにより、前記ガス循環通路 36 a 内にプラズマ 36 C が形成される。

【0053】

プラズマ 36 C の励起に伴って、前記ガス循環通路 36 a 中には酸素ラジカルおよび酸素イオンが形成されるが、直進性の強い酸素イオンは前記循環通路 36 a を循環する際に消滅し、前記ガス出口 36 c からは主に酸素ラジカル O_2^* が放出される。さらに図 5 の構成では前記ガス出口 36 c に接地されたイオンフィルタ 36 e を設けることにより、酸素イオンをはじめとする荷電粒子が除去され、前記処理空間 21 B には酸素ラジカルのみが供給される。また、前記イオンフィルタ 36 e を接地させない場合においても、前記イオンフィルタ 36 e の構造は拡散板として作用するため、十分に酸素イオンをはじめとする荷電粒子を除去することができる。なお、大量の O_2 ラジカルを必要とするプロセスを実行する場合においては、イオンフィルタ 36 e での O_2 ラジカルの衝突による消滅を防ぐため、イオンフィルタ 36 e を取り外す場合もある。

【0054】

前記したように、酸素ラジカルを形成する酸素ラジカル形成部と、窒素ラジカルを形成する窒素ラジカル形成部を分離したことにより、被処理基板 W であるシリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成した後、当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合、窒化工程における残留酸素の影響が少なくなる。

【0055】

例えば、同一のラジカル源で、まず酸素ラジカルでシリコン基板の酸化を行い、連続的に窒素ラジカルを用いた窒化をおこなうと、当該ラジカル源に、酸化の際に用いた酸素や酸素を含む生成物が残留し、窒化工程において、残留した酸素による酸化が進行してしまい、酸化膜の増膜が起こる問題がある。

【0056】

本実施例の場合は、前記したようなラジカル形成部の残留酸素によって窒化工程においてシリコン基板の酸化が進んでしまう酸化膜の増膜現象の影響を抑えることが可能となり、その結果、図 3 中の前記ベース酸化膜 202 の増膜が少ない、理想的なベース酸化膜および酸窒化膜を形成することができる。

【0057】

また、前記したような残留酸素の影響があった場合、酸化が促進されて増膜が生じる一方で、前記酸窒化膜 202 A の窒素濃度が低くなってしまう場合がある

が、前記基板処理装置 20 の場合、残留酸素の影響が少なくなるため、窒化が進行し、所望の窒素濃度に調整することが可能となる。

【0058】

また、本発明による基板処理装置 20 の場合、窒素ラジカルを生成するリモートプラズマ源 26 と、酸素ラジカルを生成するリモートプラズマ源 36 のラジカル発生機構が同一であるため、ラジカル源を分離しながらも構造が単純となり、基板処理装置のコストを低減させることができる。また、メンテナンスも容易となるため、基板処理装置の生産性を向上させることが可能となる。

【0059】

次に、前記基板処理装置 20 により、図 3 のシリコン基板 202 上に非常に薄いベース酸化膜 202 を、酸窒化膜 202A を含めて形成する方法について、図面に基づき、説明する。

〔第 2 実施例〕

図 6 (A), (B) は、それぞれ図 4 の基板処理装置 20 を使って被処理基板 W のラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図である。

【0060】

図 6 (A), (B) を参照するに、リモートプラズマラジカル源 36 には Ar ガスと酸素ガスが供給され、プラズマを数 100 kHz の周波数で高周波励起することにより酸素ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、前記排気口 21A およびポンプ 24 を介して排気される。その結果前記処理空間 21B は、基板 W のラジカル酸化に適当な、1.3 Pa ~ 1.33 kPa (0.01 ~ 10 Torr) の範囲のプロセス圧に設定される。特に 6.65 Pa ~ 133 Pa (0.05 ~ 1.0 Torr) の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された酸素ラジカルは、前記被処理基板 W の表面に沿って流れる際に、回転している被処理基板 W の表面を酸化して、前記被処理基板 W であるシリコン基板表面に 1 nm 以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に 2 ~ 3 原子層に相当する約 0.4 nm の膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

【0061】

図6 (A), (B) の酸化工程では、酸化工程に先立ちパージ工程を行うことも可能である。前記パージ工程では前記バルブ23Aおよび23Cが開放され、バルブ24Aが閉鎖されることで前記処理空間21Bの圧力が 1.33×10^{-1} ~ 1.33×10^{-4} Pa の圧力まで減圧され、処理空間21B中に残留している水分などがパージされる。

【0062】

なお、酸化処理においては、排気経路として、ターボ分子ポンプ23Bを経由する場合、しない場合の2通りが考えられる。

【0063】

バルブ23Aおよび23Cが閉鎖される場合はターボ分子ポンプ23Bを使用せずにバルブ24Aを開き、ドライポンプ24のみを利用する。この場合はパージする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

【0064】

また、バルブ23Aおよび23Cを開放してバルブ24Aを閉鎖してターボ分子ポンプ23Bを排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

【0065】

このように、図4の基板処理装置20を使うことにより、被処理基板Wの表面に非常に薄い酸化膜を形成し、当該酸化膜表面を次に図7 (A), (B) で後述するようにさらに窒化することが可能になる。

[第3実施例]

図7 (A), (B) は、それぞれ図4の基板処理装置20を使って被処理基板Wのラジカル窒化を行う場合を示す側面図および平面図である。

【0066】

図7 (A), (B) を参照するに、リモートプラズマラジカル源26にはArガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数100 kHzの周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理

基板Wの表面に沿って流れ、前記排気口21Aおよびポンプ24を介して排気される。その結果前記処理空間21Bは、基板Wのラジカル窒化に適当な、 $1.33\text{ Pa} \sim 1.33\text{ kPa}$ ($0.01 \sim 10\text{ Torr}$) の範囲のプロセス圧に設定される。特に $6.65 \sim 133\text{ Pa}$ ($0.05 \sim 1.0\text{ Torr}$) の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、回動している被処理基板Wの表面を窒化する。

【0067】

図7(A), (B) の窒化工程では、窒化工程に先立ち、パージ工程を行うことも可能である。前記パージ工程では前記バルブ23Aおよび23Cが開放され、バルブ24Aが閉鎖されることで前記処理空間21Bの圧力が $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4}\text{ Pa}$ の圧力まで減圧され、処理空間21B中に残留している酸素や水分がパージされる。

【0068】

窒化処理においても、排気経路としてターボ分子ポンプ23Bを経由する場合、しない場合の2通りが考えられる。

【0069】

バルブ23Aおよび23Cが閉鎖される場合はターボ分子ポンプ23Bを使用せずにバルブ24Aを開き、ドライポンプ24のみを利用する。この場合はパージする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

【0070】

また、バルブ23Aおよび23Cを開放してバルブ24Aを閉鎖してターボ分子ポンプ23Bを排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

【0071】

このように、図4の基板処理装置20を使うことにより、被処理基板Wの表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

[第4実施例]

ところで、前記した被処理基板W上の酸化膜の窒化工程において、リモートプラズマ源26によって生成された窒素ラジカルは、前記リモートプラズマ源26の前記ガス出口26cより前記処理容器21内部、前記処理空間21Bに供給されて、前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、さらに前記排気口21Aに向かう窒素ラジカル流路を形成する。

【0072】

前記したような窒素ラジカル流路が形成される様子を模式的に示したものを図8に示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0073】

図8は、前記リモートプラズマ源26および前記被処理基板Wの位置関係を、前記ガス出口26cより供給される窒素ラジカルが形成する窒素ラジカル流路R1、およびその結果として前記被処理基板W上に形成されるラジカル分布と共に概略的に示す。

【0074】

図8を参照するに、前記ガス出口26cから供給された窒素ラジカルは、当該ガス出口26cから前記排出口21Aに向かう窒素ラジカル流路R1を形成する。ここで前記被処理基板Wの中心をウェハ中心Cとし、前記ウェハ中心Cを通過して直行するx軸とy軸を、前記リモートプラズマ源26が設置される前記処理容器21の第1の側から前記排気口21Aの設けられた前記処理容器21の第2の側に向かう軸をx軸とし、直行する軸をy軸と設定する。

【0075】

また、前記窒素ラジカル流路R1が、前記被処理基板Wの酸化膜を窒化する範囲を領域S1で示す。この場合、被処理基板Wは回転していないものとする。

【0076】

この場合、前記領域S1のx軸方向の長さX1は、窒素ラジカルの流量、すなわち前記リモートプラズマ源26に導入される窒素の流量にほぼ依存すると考えられる。

【0077】

また、前記窒素ラジカル流路 R 1 が、前記被処理基板 W 上を通過する際の前記窒素ラジカル流路 R 1 の中心と前記ウェハ中心 C の距離を Y 1 とすると、前記被処理基板 W を回動させた場合の前記被処理基板 W 上の酸化膜の膜厚の分散値 σ は、前記距離 X 1 と距離 Y 1 に依存すると考えられる。

【0078】

次に、前記距離 X 1 および距離 Y 1 を変化させた場合の、酸化膜の膜厚分散値 σ を算定した結果を図 9 に示す。なお、図 9 は被処理基板 W に 300 mm のシリコンウェハを用いた場合である。

【0079】

図 9 を参照するに、横軸は前記距離 X 1 を示し、縦軸は酸化膜の膜厚分散値 σ を示す。系列 1 は前記距離 Y 1 が 0 mm の場合、同様に系列 2 は距離 Y 1 が 20 mm、系列 3 は距離 Y 1 が 40 mm、系列 4 は距離 Y 1 が 60 mm、系列 5 は距離 Y 1 が 100 mm、系列 6 は距離 Y 1 が 150 mm の場合を示す。

【0080】

まず、距離 Y 1 が 0 の場合、すなわち前記窒素ラジカル流路 R 1 の中心が前記ウェハ中心 C を通過する場合であって、かつ前記距離 X 1 が 100 mm の場合に最も前記分散値 σ が小さく、酸化膜の膜厚分布が良好である。

【0081】

次に、それぞれの距離 Y 1 の値に対して距離 X 1 を変化させた場合に、最も分散値 σ が小さくなる点をつないだ曲線を図中 U で示すが、前記距離 Y 1 の値が大きくなるにしたがい、前記分散値 σ が最も小さくなる距離 X 1 の値が大きくなる傾向にある。また、距離 Y 1 が 100 mm、150 mm の場合は前記ラジカル流路 R 1 の中心が前記ウェハ中心 C より大きく離れてしまうためこの傾向はあてはまらず、前記分散値 σ の値が極端に大きくなっている。

【0082】

例えば、前記基板処理装置 20 によって形成される酸化膜および酸化膜を、前記半導体装置 200 の前記ベース酸化膜 202 および酸化膜 202 A に用いることを考えた場合、前記分散値 σ が 1 % 以下である場合に酸化膜の膜厚分布

が良好であり、半導体装置の形成に用いることが可能である。

【0083】

そこで図9をみると、距離Y1が40mm以下の場合に σ が1%以下となる距離X1の値が存在し、良好な酸化膜の膜厚分布を得ることが可能であると考えられる。

【0084】

このように、酸化膜の膜厚分布は、前記窒素ラジカル流路R1の形成方法、すなわち前記窒素ラジカル流路R1の形成に関わる前記リモートプラズマ源26の設置方法に大きく依存している。前記したように、理想的には、前記窒素ラジカル流路R1が前記被処理基板Wの中心を通過するように前記リモートプラズマ源26を設置するのがよい。

【0085】

但し、リモートプラズマ源36を用いた前記被処理基板Wの酸化工程を考えると、以下の理由で、リモートプラズマ源36と設置場所が干渉してしまうことが考えられる。

【0086】

酸素ラジカルが前記リモートプラズマ源36のガス出口36cから前記排気口21Aに向かって形成する、被処理基板Wに沿った酸素ラジカル流路R2によって酸化される領域は、前記領域S1と同様の傾向を示す。このため、形成される酸化膜の膜厚分布が最も良好となる前記リモートプラズマ源36の設置場所は、前記したx軸上になり、前記リモートプラズマ源26をx軸上に設置しようとすると、前記リモートプラズマ源36と干渉してしまう。

【0087】

そこで、前記リモートプラズマ源26および36が干渉せず、かつ形成される酸化膜と酸化膜の双方の膜厚分布が良好となるよう、前記リモートプラズマ源26および36を設置することが必要となる。

[第5実施例]

図10(A), (B), (C)は、前記リモートプラズマ源26および36を前記処理容器21に設置する設置方法を示した図である。ただし図中、先に説明

した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0088】

まず、図10 (A) を参照するに、前記リモートプラズマ源26および36が隣接し、前記窒素ラジカル流路R1と前記酸素ラジカル流路R2が平行となるように前記処理容器21に設置されている。

【0089】

この場合、前記したように、前記Y1が小さいほど酸化膜の膜厚分布が良好となるので、前記Y1、すなわちx軸上からの前記リモートプラズマ源26のオフセット量をできるだけ小さくし、40mm以下とすることで酸化膜の膜厚の分散値 σ_1 が1%以下となることを達成することが可能となる。

【0090】

また、同様に、前記酸素ラジカル流路R2の中心と前記ウェハ中心Cの距離X2をできるだけ小さくするほど酸化膜の膜厚分布が良好となるため、Y2の値すなわちx軸上からの前記リモートプラズマ源36のオフセット量をできるだけ小さくし、40mm以下とすることで酸化膜の膜厚の分散値 σ_2 が1%以下となることを達成することが可能となると予想される。

【0091】

次に図10 (B) を参照するに、図10 (B) の場合には、例えば前記リモートプラズマ源36が前記x軸上に設置され、前記酸素ラジカル流路R2の中心が前記ウェハ中心Cを通過するよう設置されている。前記リモートプラズマ源26は、前記リモートプラズマ源36より離れたところに設置されるが、以下に示すように前記窒素ラジカル流路R1の中心が前記ウェハ中心Cを通過するようにしている。

【0092】

前記リモートプラズマ源26のガス出口26c付近に、ガス整流板26fを設置して窒素ラジカル流路R1の向きを変更している。すなわち、前記ガス出口26cから供給される前記窒素ラジカル流路R1を前記ガス整流板26fに衝突させ、さらに前記窒素ラジカル流路R1を当該ガス整流板26fに沿った流れ、例えば図中に示すようにx軸に対して θ_1 の角度を形成する流れとして、向きが変

更された後の窒素ラジカル流路 R 1 の中心が前記ウェハ中心 C を通過するようにしている。

【0093】

この場合、前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過するため、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となる。

【0094】

また、前記リモートプラズマ源 26 と 36 を離れたところに設置できるために、設計やレイアウトの自由度が上がり、さらに前記 $\theta 1$ の角度を変更した整流板を用いることで、様々な位置に前記リモートプラズマ源 26 を設置することが可能となる。

【0095】

さらに前記リモートプラズマ源 26 を前記 x 軸上に配して、前記リモートプラズマ源 36 のガス出口 36 c 付近に整流板を設置することも可能であり、この場合も同様にして、前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

【0096】

その上、前記リモートプラズマ源 26, 36 を共に x 軸から離れたところに配して、それぞれのガス出口 26 C、36 C 付近に整流板を設置することも可能であり、この場合も同様にして前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心が共に前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

【0097】

このようにすれば、設計やレイアウトの自由度がさらに上がり、前記 $\theta 1$ の角度を変更した 2 つの整流板を用いることで様々な位置にリモートプラズマ源 26、36 を設置することが可能となる。

【0098】

また、整流板をリモートプラズマ源の内部、すなわちガス出口の内側に設置することも可能である。この場合処理容器 21 の内部に整流板の設置場所を確保することが不要となる。

【0099】

さらに、前記窒素ラジカル流路 R1 の向きを変更する方法の例として、図 10 (C) に示す方法をとることも可能である。

【0100】

図 10 (C) を参照するに、本図においては図 10 (B) の場合と同様に、例えば前記リモートプラズマ源 36 が前記 x 軸上に設置され、前記酸素ラジカル流路 R2 の中心が前記ウェハ中心 C を通過するように設置されている。前記リモートプラズマ源 26 は、前記リモートプラズマ源 36 より離れたところに設置されるが、以下に示すように前記窒素ラジカル流路 R1 の中心が前記ウェハ中心 C を通過するようにしている。

【0101】

この場合、前記リモートプラズマ源 26 のガス出口 26c から供給される前記窒素ラジカル流路 R1 が、前記 x 軸に対して例えば $\theta 2$ の角度を形成するように前記リモートプラズマ源 26 が x 軸に対して傾けて設置され、前記窒素ラジカル流路 R1 の中心が前記ウェハ中心 C を通過する構造となっている。

【0102】

そのため、前記窒素ラジカル流路 R1 と前記酸素ラジカル流路 R2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過するため、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となる。

【0103】

また、前記リモートプラズマ源 26 と 36 を離れたところに設置できるために、設計やレイアウトの自由度が上がり、さらに前記 $\theta 2$ の角度を変更することで前記リモートプラズマ源 26 の設置場所を様々に変更することが可能となる。

【0104】

さらに前記リモートプラズマ源 26 を前記 x 軸上に配して、前記リモートプラ

プラズマ源 36 を前記 x 軸に対して傾けて設置することも可能であり、この場合も同様に、前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

【0105】

その上、前記リモートプラズマ源 26、36 をともに x 軸から離れたところに配して、それぞれ前記 x 軸に対して傾けて設置することも可能であり、この場合も同様に、前記窒素ラジカル流路 R 1 と前記酸素ラジカル流路 R 2 の双方の中心がともに前記ウェハ中心 C を通過し、前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好となるようにすることが可能である。

【0106】

このようにすれば設計レイアウトや自由度がさらに上がり前記 θ 2 の角度をそれぞれ変更することで前記リモートプラズマ源 26、36 の設置場所を様々に変更することが可能である。

【0107】

また、図 10 (B) および図 10 (C) に前記した方法により、前記窒素ラジカル流路 R 1 または酸素ラジカル流路 R 2 の向きを変更した場合、向きを変更した後の前記 R 1 または R 2 が前記ウェハ中心 C を通過するのが最も酸窒化膜および酸化膜の膜厚分布が良好であるが、前記 R 1 または R 2 と前記ウェハ中心 C の距離が 40 mm 以下であれば、酸窒化膜または酸化膜の膜厚分散値 σ は 1 % 以下を確保することができると考えられる。

【0108】

また、図 10 (B) に示したような整流板と、図 10 (C) に示したリモートプラズマ源を x 軸に対して傾けて設置する方法を組み合わせることも可能であり、その場合さらに様々な場所に前記リモートプラズマ源 26 および 36 を設置してさらに前記被処理基板 W 上に形成される酸化膜および酸窒化膜の双方の膜厚分布が良好とすることができる。

[第 6 実施例]

前記したように、処理容器において、シリコン基板を酸化して酸化膜を形成し

、当該処理容器で当該酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合、酸化の工程において用いた酸素および酸素を含む残留物の影響で窒化处理の際に酸化反応を生じ、酸化膜を増膜させてしまうおそれがある。このように酸窒化处理の際に酸化膜が増膜してしまうと、前記図3に示した高誘電体ゲート絶縁膜を使う効果は相殺されてしまう。

【0109】

そこで、高誘電体ゲート絶縁膜のベース酸化膜および当該酸化膜上の酸窒化膜を形成する際は、ベース酸化膜の増膜の影響を排して窒化を行う事が重要である。このような酸窒化膜形成の、残留酸素の影響が多い場合と少ない場合のモデルの例を図11に示す。図11のグラフは、横軸がシリコン基板上に形成される酸化膜と酸窒化膜の厚さを加えた、形成される合計の膜厚を示し、縦軸が形成される酸窒化膜の窒素濃度を示している。

【0110】

まず、残留酸素の影響が大きい場合、図中に示したF0の場合は以下のようなになる。F0上の点で、シリコン基板上にベース酸化膜を形成した時点をaとし、aにおける膜厚を T_1 、窒素濃度を C_1 とする。この場合は窒化工程前であるので窒素濃度は測定限界下の値である。

【0111】

次に、前記ベース酸化膜を窒化して当該ベース酸化膜上に酸窒化膜を形成した状態がb'である。b'における膜厚は T_2' 、窒素濃度は C_2' である。さらにb'の状態から窒化を進めた状態がc'であり、膜厚は T_3' 、窒素濃度が C_3' となる。

【0112】

このように、F0のケースでは酸化膜を窒化することで窒素濃度が上昇するが膜厚の増加、例えば $T_3' - T_1$ の値が後述の残留酸素が少ない場合に比べて大きくなると予想される。また、窒素濃度の上昇も後述する残留酸素の影響が少ない場合に比べて小さくなると考えられる。

【0113】

次に、残留酸素の影響が少ない場合、図中に示したF1の場合も同様にして、

シリコン基板上にベース酸化膜を形成した時点を a とし、窒化した状態を b とし、b よりさらに窒化を進めた状態を c で示す。前記 F 1 の場合は、b の状態での膜厚増加が少なく、さらに c の状態まで進めた場合の膜厚増加 $T_3 - T_1$ の値が、前記 F 0 の場合に比べて少ないと予想される。

【0114】

また、窒素濃度 C_2 および C_3 も、前記した C_2' 、 C_3' に比べて高い。これは、前記 F 1 の場合は、処理容器中などの残留酸素の影響が少ないため、窒化工程において、残留酸素によるシリコン基板の酸化が促進されることが無く、またそのために窒化が進行しやすい為に窒素濃度が高い酸窒化膜を形成することが可能である。

【0115】

すなわち、処理容器中の残留酸素の影響を排することで、高誘電体ゲート絶縁膜のゲート酸化膜のベース酸化膜として好ましい厚さ、例えば約 0.4 nm 以下を確保しながら、当該ベース酸化膜上に所望の値の酸窒化膜を形成することが可能となると考えられる。

【0116】

例えば前記基板処理装置 20 の場合、酸化に用いる酸素ラジカルを形成するラジカル源と、窒化に用いる窒素ラジカルを形成するラジカル源は分離されているが、それでも酸素ラジカルを形成する際に用いる酸素および酸素を含む残留物の影響が完全に排除できるわけではない。

【0117】

次に、具体的に、残留酸素の影響を抑える方法に関して以下に説明する。

〔第 7 実施例〕

図 12 (A), (B) は、それぞれ図 4 の基板処理装置 20 を使い、被処理基板 W のラジカル酸化を行う方法を示す側面図および平面図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。本実施例の場合は、本図に示す酸化工程の後の窒化工程の際に、残留酸素の影響が少なく、ベース酸化膜の増膜が少ないという特徴をもっている。

【0118】

本図においては、前記図 6 (A), (B) に示した場合と同様に、シリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成するが、前記図 6 (A), (B) に示した場合と異なる点は、前記リモートプラズマラジカル源 36 より酸素ラジカルが前記処理空間 21B に供給される際に、同時に前記リモートプラズマ源 26 より、例えば Ar などのパージガスが前記処理空間 21B に供給されることである。前記したパージガスが供給される以外は、図 6 (A), (B) の場合と同一である。

【0119】

前記したように、シリコン基板を酸化してベース酸化膜を形成する工程では、酸素ラジカルを用いるため、前記したように前記処理空間 21B には前記リモートプラズマ源 36 より酸素ラジカルが導入される。その際に、前記リモートプラズマ源 26 の前記ガス出口 26c より酸素ラジカルや、例えば H₂O などの酸素を含む副生成物が逆流してしまう場合がある。

【0120】

このように、酸素ラジカルや酸素を含む副生成物が逆流してしまうと、例えば図 7 (A), (B) に示す窒化工程において、ベース酸化膜の増膜や、窒素濃度の低下といった問題を引き起こす場合がある。

【0121】

そのため、本実施例では前記リモートプラズマ源 26 より前記処理空間 21B にパージガスを導入して、酸素や、酸素を含む生成物が前記リモートラジカル源 26 に逆流するのを防止している。

【0122】

また、前記したようなりモートプラズマ源 26 へ逆流した酸素や酸素を含む生成物を排除するために、例えば真空パージや不活性ガスによるガスパージを行う方法がある。

【0123】

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間 21B や前記リモートプラズマ源 26 に残留した酸素や酸素を含む生成物を除去する方法である。

【0124】

ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間 21B に不活性ガスを導入して前記処理空間 21B や前記リモートプラズマ源 26 に残留した酸素を除去する方法である。

【0125】

通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせて数回行われる。しかし前記した真空パージとガスパージを行うと、処理時間を要するために、基板処理装置 20 のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。また、真空パージを行うためには、例えばターボ分子ポンプなどの排気速度の大きい高価な排気手段を要するために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

【0126】

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

【0127】

また、図 12 (A), (B) に示した酸化工程の後は、図 7 (A), (B) で前記した窒化工程を行い、ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。その際に、前記したように前記リモートプラズマ源 26 への酸素の逆流の影響を排除しているため、残留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0128】

その結果、図 3 で前記した、前記半導体装置 200 において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば 0.4 nm 程度のベース酸化膜 202 と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜 202A を形成することが可能となる。

【0129】

なお、本実施例において用いるパージガスは、不活性ガスであれば良く、前記した Ar ガスの他に、窒素、ヘリウムなど用いることが可能である。

【0130】

また、前記したベース酸化膜の形成の際の酸化工程においてパージガスを用いて残留酸素の影響を減じる方法を、他の装置において実施することも可能である。

。例えば、酸素ラジカルを生成するためのラジカル源に、紫外光源を搭載した以下に示す基板処理装置 20A においても実施することが可能である。

〔第 8 実施例〕

図 13 は、図 3 のシリコン基板 201 上に非常に薄いベース酸化膜 202 を、酸化窒化膜 202A を含めて形成するための、基板処理装置 20A の概略的構成を示す。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。

【0131】

図 13 を参照するに、本図に示す基板処理装置 20A の場合は、図 4 に示した前記基板処理装置 20 の場合に比べて異なる点は、まず前記処理容器 21 に、被処理基板 W を隔てて前記排気口 21A と対向する側に酸素ガスを供給する処理ガス供給ノズル 21D が設けられており、前記処理ガス供給ノズル 21D に供給された酸素ガスは、前記プロセス空間 21B 中を前記被処理基板 W の表面に沿って流れ、前記排気口 21A から排気される構造となっていることである。

【0132】

また、このように前記処理ガス供給ノズル 21D から供給された処理ガスを活性化し酸素ラジカルを生成させるため、前記処理容器 21 上、前記処理ガス供給ノズル 21D と被処理基板 W との間の領域に対応して石英窓 25A を有する紫外光源 25 が設けられる。すなわち前記紫外光源 25 を駆動することにより前記処理ガス供給ノズル 21D からプロセス空間 21B に導入された酸素ガスが活性化され、その結果形成された酸素ラジカルが前記被処理基板 W の表面に沿って流れる。これにより、回転している前記被処理基板 W の表面に、1 nm 以下の膜厚の、特に 2 ～ 3 原子層分の厚さに相当する約 0.4 nm の膜厚のラジカル酸化膜を形成することが可能になる。

【0133】

また前記処理容器 21 には前記被処理基板 W に対して排気口 21A と対向する側にリモートプラズマ源 26 が形成されている。そこで前記リモートプラズマ源 26 に Ar などの不活性ガスと共に窒素ガスを供給し、これをプラズマにより活性化することにより、窒素ラジカルを形成することが可能である。このようにし

て形成された酸素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、回転している被処理基板表面を窒化する。

【0134】

なお、前記基板処理装置20Aでは、酸素ラジカルの生成に前記紫外光源25を用いているため、前記基板処理装置20のように前記リモートプラズマ源36は設置されていない。

【0135】

図14(A), (B)は、それぞれ図13の基板処理装置20Aを使って通常の方法で被処理基板Wのラジカル酸化を行う場合を示す側面図および平面図である。

【0136】

図14(A)を参照するに、前記プロセス空間21B中には処理ガス供給ノズル21Dから酸素ガスが供給され、被処理基板Wの表面に沿って流れた後、排気される。排気経路としてはターボ分子ポンプ23Bを経由する場合、しない場合の2通りが考えられる。

【0137】

バルブ23Aおよび23Cが閉鎖される場合はターボ分子ポンプ23Bを使用せずにバルブ24Aを開き、ドライポンプ24のみを利用する。この場合は残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことでガスを排除しやすい利点がある。

【0138】

また、バルブ23Aおよび23Cを開放してバルブ24Aを閉鎖してターボ分子ポンプ23Bを排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

【0139】

これと同時に、好ましくは172nmの波長の紫外光を発生する紫外光源25を駆動することにより、このようにして形成された酸素ガス流中に酸素ラジカルが形成される。形成された酸素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ

る際に、回転している基板表面を酸化する。このような被処理基板Wの紫外光励起酸素ラジカルによる酸化（以下UV-O₂処理）により、シリコン基板表面に1 nm以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に2～3原子層に相当する約0.4 nmの膜厚の酸化膜を、安定に再現性良く形成することが可能になる。

【0140】

図14（B）は図14（A）の構成の平面図を示す。

【0141】

図14（B）を参照するに、紫外光源25は酸素ガス流の方向に交差する方向に延在する管状の光源であり、ターボ分子ポンプ23Bが排気口21Aを介してプロセス空間21Bを排気するのがわかる。一方、前記排気口21Aから直接にポンプ24に至る、図14（B）中に点線で示した排気経路は、バルブ23A、23Cを閉鎖することにより、達成される。

【0142】

次に、図15（A）、（B）は、それぞれ図13の基板処理装置20Aを使って被処理基板Wのラジカル窒化（RF-N₂処理）を行う場合を示す側面図および平面図である。

【0143】

図15（A）、（B）を参照するに、リモートプラズマラジカル源26にはArガスと窒素ガスが供給され、プラズマを数100 kHzの周波数で高周波励起することにより窒素ラジカルが形成される。形成された窒素ラジカルは前記被処理基板Wの表面に沿って流れ、前記排気口21Aおよびポンプ24を介して排気される。その結果前記プロセス空間21Bは、基板Wのラジカル窒化に適当な、1.33 Pa～1.33 kPa（0.01～10 Torr）の範囲のプロセス圧に設定される。特に6.65～133 Pa（0.05～1.0 Torr）の圧力範囲を使うのが好ましい。このようにして形成された窒素ラジカルは、前記被処理基板Wの表面に沿って流れる際に、回転している被処理基板Wの表面を窒化する。

【0144】

図15（A）、（B）の窒化工程では、窒化工程に先立ち、パージ工程を行っ

でも良い。前記パージ工程では、前記バルブ 23 A および 23 C が開放され、バルブ 24 A が閉鎖されることで前記処理空間 21 B の圧力が $1.33 \times 10^{-1} \sim 1.33 \times 10^{-4} \text{ Pa}$ の圧力まで減圧され、処理空間 21 B 中に残留している酸素や水分がパージされるが、窒化処理においても、排気経路としてターボ分子ポンプ 23 B を経由する場合、しない場合の 2 通りが考えられる。

【0145】

バルブ 23 A および 23 C が閉鎖される場合はターボ分子ポンプ 23 B を使用せずにバルブ 24 A を開き、ドライポンプ 24 のみを利用する。この場合はパージする際に残留水分などが付着する領域が小さくなること、またポンプの排気速度が大きいことで残留ガスを排除しやすい利点がある。

【0146】

また、バルブ 23 A および 23 C を開放してバルブ 24 A を閉鎖してターボ分子ポンプ 23 B を排気経路として使用する場合もある。この場合はターボ分子ポンプを用いることによって処理容器内の真空度を上げることができるため、残留ガス分圧を低くすることができる。

【0147】

このように、図 13 の基板処理装置 20 A を使うことにより、被処理基板 W の表面に非常に薄い酸化膜を形成し、その酸化膜表面をさらに窒化することが可能になる。

【0148】

前記した基板処理装置 20 A を用いて、先の実施例で前記したパージガスを用いて残留酸素の影響を抑える方法を以下に示す。

【0149】

図 16 (A), (B) は、それぞれ図 13 の基板処理装置 20 A を使い、本発明の第 8 実施例による、被処理基板 W のラジカル酸化を行う方法を示す側面図および平面図である。ただし図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付し、説明を省略する。本実施例は、本図に示す酸化工程の後の窒化工程において、残留酸素の影響が少なく酸化膜の増膜が少ない方法である。

【0150】

図16 (A), (B) を参照するに、本実施例の場合は前記図14 (A), (B) に示した場合と同様に被処理基板Wの表面の酸化を行うが、前記図14 (A), (B) の場合と異なる点は、前記処理ガス供給ノズル21Dから前記処理空間21Bに、酸素などの酸素ラジカル形成のための処理ガスが供給される際に、前記リモートプラズマ源26より、例えばArなどのパージガスが前記処理空間21Bに供給されることである。前記したパージガスが供給される以外は、図14 (A), (B) の場合と同一である。

【0151】

前記したように、シリコン基板を酸化する工程では、酸素ラジカルを用いるため、前記処理空間21Bでは前記ガス供給ノズル21Dから供給された処理ガスが活性化されて、酸素ラジカルが形成される。その際に、前記リモートプラズマ源26の前記ガス出口26cより酸素ラジカルや、酸素を含む生成物が逆流して進入してしまう場合がある。

【0152】

このように、酸素ラジカルや酸素を含む生成物が逆流してしまうと、例えば図15 (A), (B) に示す窒化工程において、ベース酸化膜の増膜や、窒素濃度の低下といった問題を引き起こす場合がある。

【0153】

そのため、本実施例では前記リモートプラズマ源26より前記処理空間21Bにパージガスを導入して、酸素や、酸素を含む生成物が前記リモートラジカル源26に逆流するのを防止している。

【0154】

また、前記したようなりモートプラズマ源26へ逆流した酸素や酸素を含む生成物を排除するために、例えば真空パージや不活性ガスによるガスパージを行う方法がある。

【0155】

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間21Bや前記リモートプラズマ源26に残留した酸素を除去する方法である。

【0156】

ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間 21B に不活性ガスを導入して前記処理空間 21B や前記リモートプラズマ源 26 に残留した酸素を除去する方法である。

【0157】

通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせる回数行われる。しかし前記した真空パージとガスパージを行うと、処理時間を要するために、基板処理装置 20A のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。また、真空パージを行うためには、例えばターボ分子ポンプなどの排気速度の大きい高価な排気手段を要するために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

【0158】

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく生産性良く、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

【0159】

また、図 16 (A), (B) に示した酸化工程の後は、図 15 (A), (B) で前記した窒化工程を行い、ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する。その際に、前記したように前記リモートプラズマ源 26 への酸素の逆流の影響を排除しているため、残留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0160】

その結果、図 3 で前記した、前記半導体装置 200 において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば 0.4 nm 程度のベース酸化膜 202 と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜 202A を形成することが可能となる。

【0161】

なお、本実施例において用いるパージガスは、不活性ガスであれば良く、前記した Ar ガスの他に、窒素、ヘリウムなど用いることが可能である。

[第 9 実施例]

次に、図 3 のシリコン基板 201 上に非常に薄いベース酸化膜 202 を、酸窒

化膜 202A を含めて形成する際に、酸化膜の形成工程でベース酸化膜 202 の増膜を抑制する別の方法を図 17 のフローチャートに示す。以下の説明では、基板処理の例として、前記基板処理装置 20A を用いた場合を示す。

【0162】

図 17 を参照するに、まずステップ 1 (図中 S1 と表記、以下同様) において、被処理基板である被処理基板 W を前記基板処理容器 21 に搬入し、前記基板保持台 22 に載置する。

【0163】

次に、ステップ 2 で、図 14 (A), (B) で前記したように、シリコン基板である被処理基板 W の表面を酸化して、シリコン基板表面に 1 nm 以下の膜厚の非常に薄い酸化膜、特に 2 ~ 3 原子層に相当する約 0.4 nm の膜厚のベース酸化膜を、安定に再現性良く形成する。

【0164】

次に、ステップ 3 において、被処理基板 W を前記処理容器 21 より外に搬出する。

【0165】

次のステップ 4 において、前記被処理基板 W が搬出された基板処理容器 21 において、当該基板処理容器 21 内の、残留酸素の除去を行う。前記ステップ 2 の酸化工程において、前記処理容器 21 の内部である処理空間 21B には酸素が供給され、また酸素ラジカルが生成される。そのため、酸素や、例えば H_2O などの酸素を含む生成物などが、前記処理空間 21B や当該処理空間 21B に連通する空間に残留している。

【0166】

そのため、本ステップにおいて前記した酸素や酸素を含む生成物の除去処理を行う。

【0167】

具体的には、前記処理容器 21 内から前記被処理基板 W を搬出した状態で、図 15 (A), (B) で前記した窒化工程と同様の方法で、Ar ガスおよび窒素ガスを前記リモートプラズマ源 26 によって解離することで生成される Ar ラジカ

ルと窒素ラジカルを含む、活性化されたArガスと窒素ガスを前記処理空間21Bに供給して、前記排気口21Aより排気することにより、前記処理空間21Bや当該処理空間21Bに連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源26の内部などに残留する酸素や、例えばH₂Oなどの酸素を含む生成物などを前記排気口21Aより排出する。

【0168】

次に、ステップ5において、再び被処理基板Wが前記処理容器21に搬入され、前記基板保持台22に載置される。

【0169】

続いて、ステップ6において、図15(A)，(B)で前記したように、ステップ2においてベース酸化膜が形成された被処理基板Wの表面を、窒素ラジカルによって窒化して酸窒化膜を形成する。この場合、前記ステップ4において酸素除去処理が行われるため、酸化膜の増膜の影響を抑えた窒化を行う事が可能となる。

【0170】

すなわち、前記処理容器21内部、前記処理空間21Bおよび当該処理空間21Bに連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源26の内部などに残留する、ステップ2において酸化に用いた酸素および酸素を含む生成物などが除去されるため、本ステップの窒化工程において、ステップ2で用いた酸素および酸素を含む残留物によって酸化膜が増膜する、また窒化の際に窒素濃度が低くなってしまいうという問題を抑制することが可能となる。そのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0171】

その結果、図3で前記した、前記半導体装置200において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば0.4nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。

【0172】

次に、ステップ7にて被処理基板Wを前記処理容器21より搬出して処理を終了する。

【0173】

一般に、前記したような前記処理容器 21 内部、前記処理空間 21 B および当該処理空間 21 B に連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源 26 の内部などに残留する、ステップ 2 において酸化に用いた酸素および酸素を含む生成物などを排除するために、真空パージや不活性ガスによるガスパージを行うことが可能である。

【0174】

例えば真空パージは、前記した酸化工程終了後に、前記処理空間を低圧（高真空）状態に排気して、前記処理空間 21 B や当該処理空間 21 B に連通する空間に残留した酸素および酸素を含む生成物を除去する方法である。

【0175】

ガスパージは、同様に前記した酸化工程終了後に、前記処理空間 21 B に不活性ガスを導入して前記処理空間 21 B や当該処理空間 21 B に連通する空間に残留した酸素および酸素を含む生成物を除去する方法である。

【0176】

通常は前記真空パージとガスパージを組み合わせる回数繰り返して行われることでその効果を奏することが多い。しかし前記した真空パージとガスパージを繰り返す行くと、処理時間を要するために、基板処理装置 20 A のスループットが低下して生産性が低下する問題がある。

【0177】

また、真空パージを行うためには、真空パージに有効な、排気速度の大きい高価な排気手段を必要とするために、装置のコストアップにつながるという問題がある。

【0178】

本実施例では、装置のスループットを低下させることなく生産性良く、前記したような残留酸素の影響を排除することが可能となる。

【0179】

また、本実施例において前記した基板処理方法は、例えば以下に示すクラスター型基板処理システムで行う事ができる。

〔第10実施例〕

図18は、本発明の第10実施例による、クラスタ型基板処理システム50の構成を示す。

【0180】

図18を参照するに、前記クラスタ型基板処理システム50は、基板搬入／搬出のためのロードロック室51と、基板表面の自然酸化膜および炭素汚染を除去する前処理室52と、図13の基板処理装置20Aよりなる処理室53と、基板上に Ta_2O_5 、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 HfO_2 、 $ZrSiO_4$ 、 $HfSiO_4$ 等の高誘電体膜を堆積するCVD処理室54と、基板を冷却する冷却室55とを真空搬送室56で連結した構成を有し、前記真空搬送室56中には搬送アーム（図示せず）が設けられている。

【0181】

本実施例の基板処理方法を行う場合には、まず前記ロードロック室51に導入された被処理基板Wは経路50aに沿って前記前処理室52に導入され、自然酸化膜および炭素汚染が除去される。前記前処理室52で自然酸化膜を除去された被処理基板Wは経路50bに沿って前記ステップ1において前記処理室53に導入され、前記ステップ2において、図13の基板処理装置20Aにより、ベース酸化膜が、2～3原子層の様な膜厚に形成される。

【0182】

前記処理室53においてベース酸化膜を形成された被処理基板Wは、前記ステップ3において経路50cに沿って前記真空搬送室56に搬送され、前記被処理基板Wが前記真空搬送室56に保持されている間に、前記ステップ4において、基板処理装置20Aにより第9実施例で前記した酸素除去処理が実施される。

【0183】

その後、前記ステップ5において、経路50dに沿って再び被処理基板Wが前記搬送室56より前記処理室53に搬送され、前記ステップ6において、前記基板処理装置20Aによりベース酸化膜の窒化が行われて酸窒化膜が形成される。

【0184】

その後、前記ステップ7において経路50eに沿って被処理基板Wが前記処理

室53より搬出されて、前記CVD処理室54に導入され、前記ベース酸化膜上に高誘電体ゲート絶縁膜が形成される。

【0185】

さらに前記被処理基板は前記CVD処理室54から経路50fに沿って冷却室55に移され、前記冷却室55で冷却された後、経路50gに沿ってロードロック室51に戻され、外部に搬出される。

【0186】

なお、図18の基板処理システム50において、さらにシリコン基板の平坦化処理を、Ar雰囲気中、高温熱処理により行う前処理室を別に設けてもよい。

【0187】

このように、前記したクラスタ型基板処理システム50によって、第9実施例に前記した基板処理方法が可能となり、窒化工程において前記処理容器21に残留した酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0188】

その結果、図3で前記した、前記半導体装置200において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば0.4nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。ベース酸化膜の増膜を押さえ、窒化を促進して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0189】

また、前記ステップ4における酸素除去処理の際に、前記被処理基板Wを載置する場所は、前記真空搬送室56に限らない。例えば、前記前処理室52や前記冷却室55および前記ロードロック室51など、外気と遮断されて前記被処理基板Wが汚染されたり、酸化されたりすることを防止することが可能でかつ搬送・搬出が可能な空間であればよい。

[第11実施例]

次に、先の第10実施例に記載したクラスタ型基板処理システム50を用いて

、第9実施例に前記した基板処理方法を行ってベース酸化膜を形成し、さらに当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成した場合の膜厚と窒素濃度の関係を図19に示す。

【0190】

また、比較のために、図中には、第9実施例で前記した酸素除去処理を行わず、ベース酸化膜の形成から当該ベース酸化膜の窒化を連続的行った例、すなわち、図14（A），（B）に前記したベース酸化膜形成工程から図15（A），（B）の窒化工程を連続的行った場合の結果も併記した。

【0191】

図19には、前記第9実施例記載の基板処理方法を用いた場合を実験D1～3で、またベース酸化膜の形成から、当該ベース酸化膜の窒化を連続的行った場合を実験I1～3で記載する。また、前記実験D1～3の基板処理の条件および実験I1～3の基板処理の条件を下記に示す。

【0192】

【表 1】

	ベース酸化膜形成			酸素除去処理			酸化窒化膜形成		
	O ₂	圧力	温度	処理時間	Ar	N ₂	圧力	温度	処理時間
I1	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C
I2	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C
I3	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	↑	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C
D1	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C
D2	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C
D3	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N2:0.075slm,10min	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C

前記実験 D1～3 および I1～3 のいずれの場合もベース酸化膜を形成する条件は同一であり、図 14 (A), (B) で前記した方法により、表中に前記した

酸素流量、圧力、基板保持台の温度、処理時間で処理を行った。

【0193】

さらに実験 I 1～3 の場合、表中に前記した条件の Ar 流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間により、窒化処理を行った。なお、実験 I 1～3 の場合は、酸素除去処理は行わなかった。

【0194】

前記実験 D 1～3 の場合、表中に前記した Ar 流量、窒素流量、処理時間で第 9 実施例に記載した酸素除去処理を行い、その後表中に前記した条件で窒化処理を行った。

【0195】

図 19 を参照するに、酸素除去処理を行わない実験 I 1～3 と比べて、第 9 実施例に前記した酸素除去処理を行った実験 D 1～3 の場合は、ベース酸化膜を窒化する際の膜厚増加が少ないことがわかる。また、窒素濃度が高く、窒化が十分に促進されていることがわかる。

【0196】

これは前記したように、酸素除去処理を行うことにより、窒化工程において残留酸素によるベース酸化膜の増膜現象を抑制し、窒化を促進して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となることを示していると考えられる。

[第 12 実施例]

次に、前記基板処理装置 20A を用いて、シリコン基板上にベース酸化膜を形成して、当該ベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合に、条件を変化させた場合の膜厚と窒素濃度の関係を、後述する実験 X 1～5 について図 20 に示す。

【0197】

また、実験 X 1～5 の場合の基板処理条件を下記に示す。

【0198】

【表 2】

ベース酸化膜形成					酸素除去処理		酸窒化膜形成				
パージAr	O ₂	圧力	温度	処理時間			Ar	N ₂	圧力	温度	処理時間
X1	0.1slm	0.3slm	0.023Torr	500°C	300sec	RFN Ar:1.38slm,N ₂ :0.075slm,5min 搬出・再搬入のみ	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X2	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec		1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X3	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec	RFO Ar:0.8slm,O ₂ :0.005slm,30sec	1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X4	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec		1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec
X5	-	0.3slm	0.02Torr	500°C	300sec		1.38slm	0.075slm	0.081Torr	500°C	60sec

回転:20rpm

回転:20rpm

前記実験X1の場合、図16(A)，(B)で前記したベース酸化膜形成方法、すなわち前記リモートプラズマ源26よりパージガスを導入して酸素の逆流を

防止する方法により、表中に前記した条件で、パージガスである Ar 流量、酸素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間でベース酸化膜を形成した。その後、図 15 (A), (B) で前記した方法で、前記の表中の Ar 流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間にて酸窒化膜を形成した。

【0199】

前記実験 X 2 ~ 5 の場合は、図 14 (A); (B) で前記したベース酸化膜形成方法によって、前記した条件の、酸素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間でベース酸化膜を形成し、図 15 (A), (B) で前記した窒化方法により、前記した条件の、Ar 流量、窒素流量、圧力、基板保持台温度、処理時間にて酸窒化膜の形成を行った。

【0200】

但し、前記実験 X 2 の場合は第 9 実施例に記載の基板処理方法に従い、酸素除去処理を、前記表中の条件の Ar 流量、窒素流量、処理時間にて行った。

【0201】

また、前記実験 X 3 の場合は、ベース酸化膜の形成終了後に一旦ウェハを前記処理容器 21 より搬出し、そのまま処理容器 21 に再搬入のみ行って、その後酸窒化膜形成工程に移行した。

【0202】

前記実験 X 4 の場合は、ベース酸化膜形成終了後に被処理基板 W を搬出せず、そのまま窒化工程に移行している。

【0203】

前記実験 X 5 の場合は、酸窒化膜形成時の、残留酸素の影響をしらべるため、ベース酸化膜の形成後に一旦被処理基板 W を搬出して、前記基板処理装置 20 A において、表中に前記した条件で酸素を導入して酸素ラジカル処理を行い、その後被処理基板 W を再搬入して酸窒化膜形成を行っている。

【0204】

図 20 を参照するに、膜厚の増加に対する窒素濃度の傾向を見た場合、前記実験 X 1 の場合と、前記実験 X 2 の場合がほぼ同様の傾向を示しており、後述する実験 X 3 ~ 5 の場合に比べて、窒化工程におけるベース酸化膜の増膜が抑えられ

、また窒化が促進して窒素濃度が高くなっていると考えられる。

【0205】

前記実験X1の場合、図16(A)、(B)に前記したベース酸化膜の形成方法を行うことにより、シリコン基板を酸化する際に、窒化のためのラジカル源である前記リモートプラズマ源26への酸素や酸素ラジカルおよび酸素を含む生成物の逆流を防止している。その結果、ベース酸化膜形成後の窒化工程において、残留酸素や酸素を含む生成物の影響を排除して、ベース酸化膜の増加を抑えて、かつ窒化を促進させた高い窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0206】

また、前記実験X2の場合は、前記した酸素除去処理により、Arラジカルと窒素ラジカルを含む、活性化されたArガスと窒素ガスにより、前記処理空間21Bや当該処理空間21Bに連通する空間、例えば前記リモートプラズマ源26の内部などに残留する酸素や、例えばH₂Oなどの酸素を含む生成物などを除去し、ベース酸化膜形成後の窒化工程において、残留酸素や酸素を含む生成物の影響を排除して、ベース酸化膜の増加を抑えて、かつ窒化を促進させた高い窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0207】

なお、前記実験X3とX4が、膜厚と窒素濃度の関係で、ほぼ同様の傾向を示している。このことから、単に被処理基板Wを前記処理容器21から搬出・再搬入するだけでは前記したような残留酸素を除去する効果はなく、前記したような酸素除去処理が必要であると考えられる。

【0208】

また、残留酸素が窒化の際に及ぼす影響を確認するため、実験X5の場合にはベース酸化膜形成終了後に、前記処理容器21に酸素ラジカルを供給している。実験X5の場合には、ベース酸化膜の増膜が大きく、また窒素濃度が低いことから前記処理空間21Bおよび前記処理空間21Bに連通する空間に残留した酸素および酸素を含む生成物が、窒化工程の際にシリコン基板を酸化してベース酸化膜の増膜の原因となり、そのために窒化が促進せず、窒素濃度が低いものと考えられる。

【0209】

また、例えば第9～10実施例記載の基板処理方法を前記基板処理装置20を用いて行うことも可能であり、また、第8実施例記載のパージガスを用いて酸素の逆流を防止する方法と、第9～10実施例記載の酸素除去処理を組み合わせる実施することも可能であり、その場合も同様に、酸窒化膜形成工程において、酸素や酸素を含む生成物によって酸化が進行してベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、またそのために窒化が進行して所望の窒素濃度の酸窒化膜を形成することが可能となる。

【0210】

その結果、図3で前記した、前記半導体装置200において用いる場合に適切な非常に薄い、例えば0.4nm程度のベース酸化膜202と、ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜202Aを形成することが可能となる。

【0211】

以上、本発明を好ましい実施例について説明したが、本発明は上記の特定の実施例に限定されるものではなく、特許請求の範囲に記載した要旨内において様々な変形・変更が可能である。

【0212】

【発明の効果】

本発明によれば、処理容器でシリコン基板上に非常に薄いベース酸化膜を、酸窒化膜を含めて形成する際に、ベース酸化膜形成時に用いた酸素や酸素化合物などの残留物が、酸窒化膜形成時にシリコン基板の酸化を進行させてベース酸化膜が増膜してしまう現象を抑制し、さらに生産性も良好となった。

【0213】

その結果、半導体装置において用いる場合に適切な非常に薄いベース酸化膜と、当該ベース酸化膜上の適切な濃度の酸窒化膜を、良好な生産性で形成することが可能となった。

【図面の簡単な説明】

【図1】

従来の基板処理装置の概略を示す図（その1）である。

【図 2】

従来の基板処理装置の概略を示す図（その 2）である。

【図 3】

半導体装置の構成を示す概略図である。

【図 4】

本発明による基板処理装置の概略を示す図（その 1）である。

【図 5】

図 4 の基板処理装置において使われるリモートプラズマ源の構成を示す図である。

【図 6】

(A), (B) は、図 4 の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その 1）および平面図（その 1）である。

【図 7】

(A), (B) は、図 4 の基板処理装置を使って行われる酸化膜の窒化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

【図 8】

被処理基板の窒化の状態を模擬的に示した図である。

【図 9】

被処理基板の酸窒化膜の膜厚分散値を示した図である。

【図 10】

(A), (B), (C) は、リモートプラズマ源の設置方法を示した図である。

【図 11】

酸窒化膜形成時の残留酸素の影響が多い場合と少ない場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

【図 12】

(A), (B) は、図 4 の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その 2）および平面図（その 2）である。

【図 13】

本発明による基板処理装置を示す概略図（その 2）である。

【図 1 4】

(A), (B) は、図 1 3 の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その 1）および平面図（その 1）である。

【図 1 5】

(A), (B) は、図 1 3 の基板処理装置を使って行われる酸化膜の窒化処理を示すそれぞれ側面図および平面図である。

【図 1 6】

(A), (B) は、図 1 3 の基板処理装置を使って行われる基板の酸化処理を示すそれぞれ側面図（その 2）および平面図（その 2）である。

【図 1 7】

本発明の第 9 実施例による基板処理方法のフローチャートを示す図である。

【図 1 8】

本発明の第 10 実施例によるクラスタ型基板処理システム 50 の構成を示す概略図である。

【図 1 9】

第 9 実施例の基板処理方法でベース酸化膜を形成し、さらにベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成した場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

【図 2 0】

図 1 3 の基板処理装置を用いてシリコン基板上にベース酸化膜を形成して、さらにベース酸化膜を窒化して酸窒化膜を形成する場合に、条件を変化させた場合の膜厚と窒素濃度の関係を示す図である。

【符号の説明】

200 半導体装置

201 シリコン基板

202 ベース酸化膜

202A 酸窒化膜

204 高誘電体膜

100, 110, 20, 20A 基板処理装置

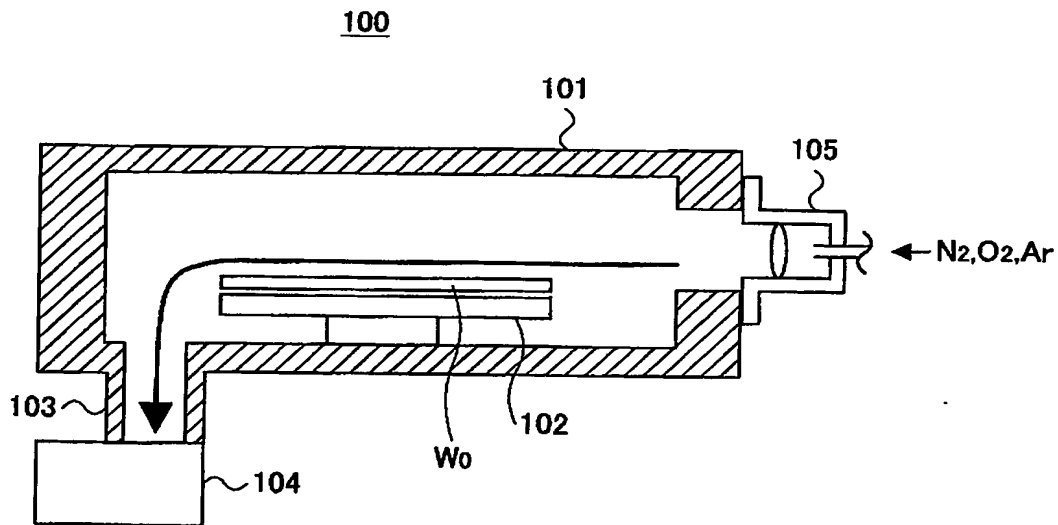
101, 111, 21 処理容器
102, 118, 22 基板保持台
113, 103 排気口
120, 104 排気手段
105, 116 リモートプラズマラジカル源
115 ノズル
22A ヒータ
W0, W 被処理基板
21A, 21E 排気口
21B プロセス空間
21C 基板搬入・搬出室
21G 石英ライナ
21c, 22b, 22c パージライン
21D ガスノズル
22A ヒータ
22B 磁気シール槽
22C 基板回転機構
23A, 23C, 23D, 24A, 24C, 29A, 29C, 29D バルブ
23B, 29B ターボ分子ポンプ
24 ドライポンプ
25, 115 紫外光源
25A, 114 光学窓
26, 36 リモートプラズマ源
26A, 36A ブロック
26B, 36B フェライトコア
26C, 36C プラズマ
26a, 36a ガス循環通路
26b, 36b ガス入り口
26c, 36c ガス出口

- 2 6 d, 3 6 d コーティング
- 2 6 e, 3 6 e イオンフィルタ
- 2 7 基板搬送ユニット
- 2 7 A ゲートバルブ
- 2 8 磁気シール
- 5 0 クラスタ型基板処理装置
- 5 1 ロードロック
- 5 2 前処理室
- 5 3 処理室
- 5 4 C V D 室
- 3 5 5 冷却室
- 5 6 基板搬送室

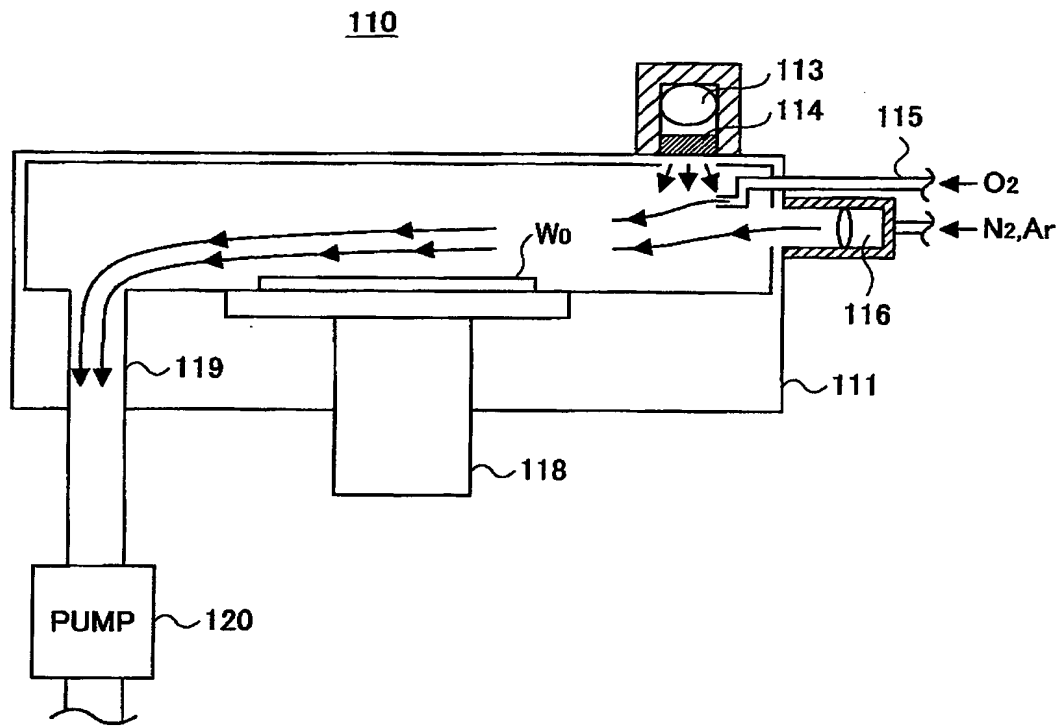
【書類名】

図面

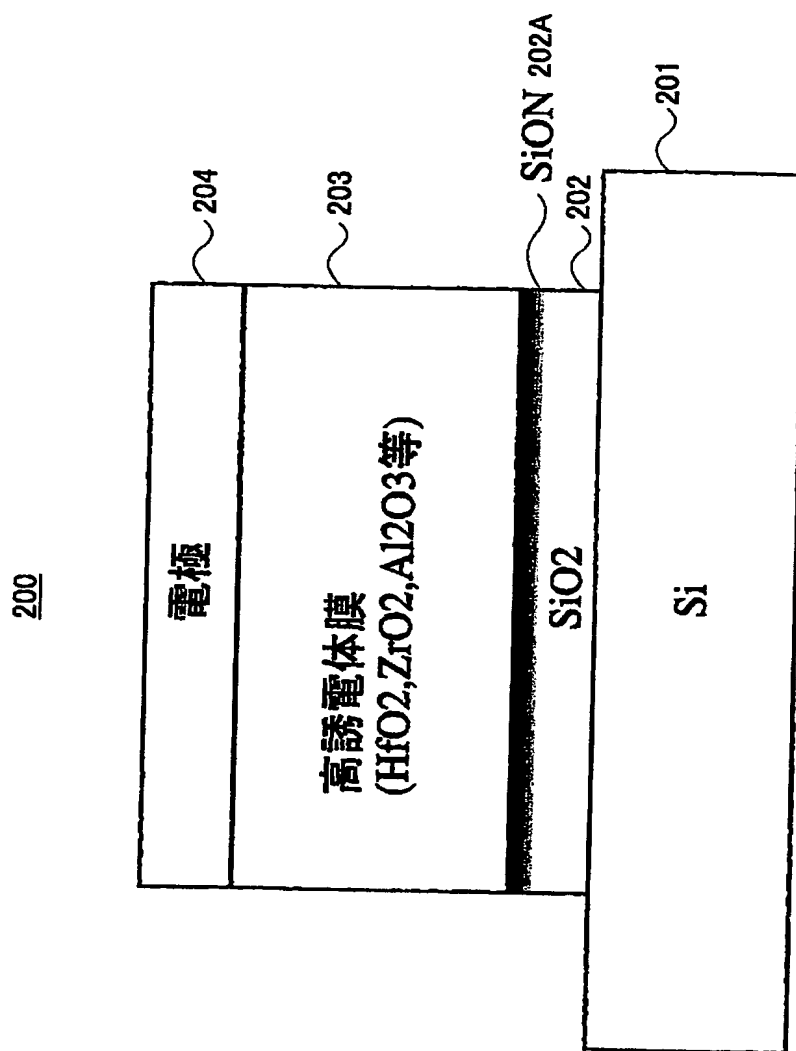
【図 1】



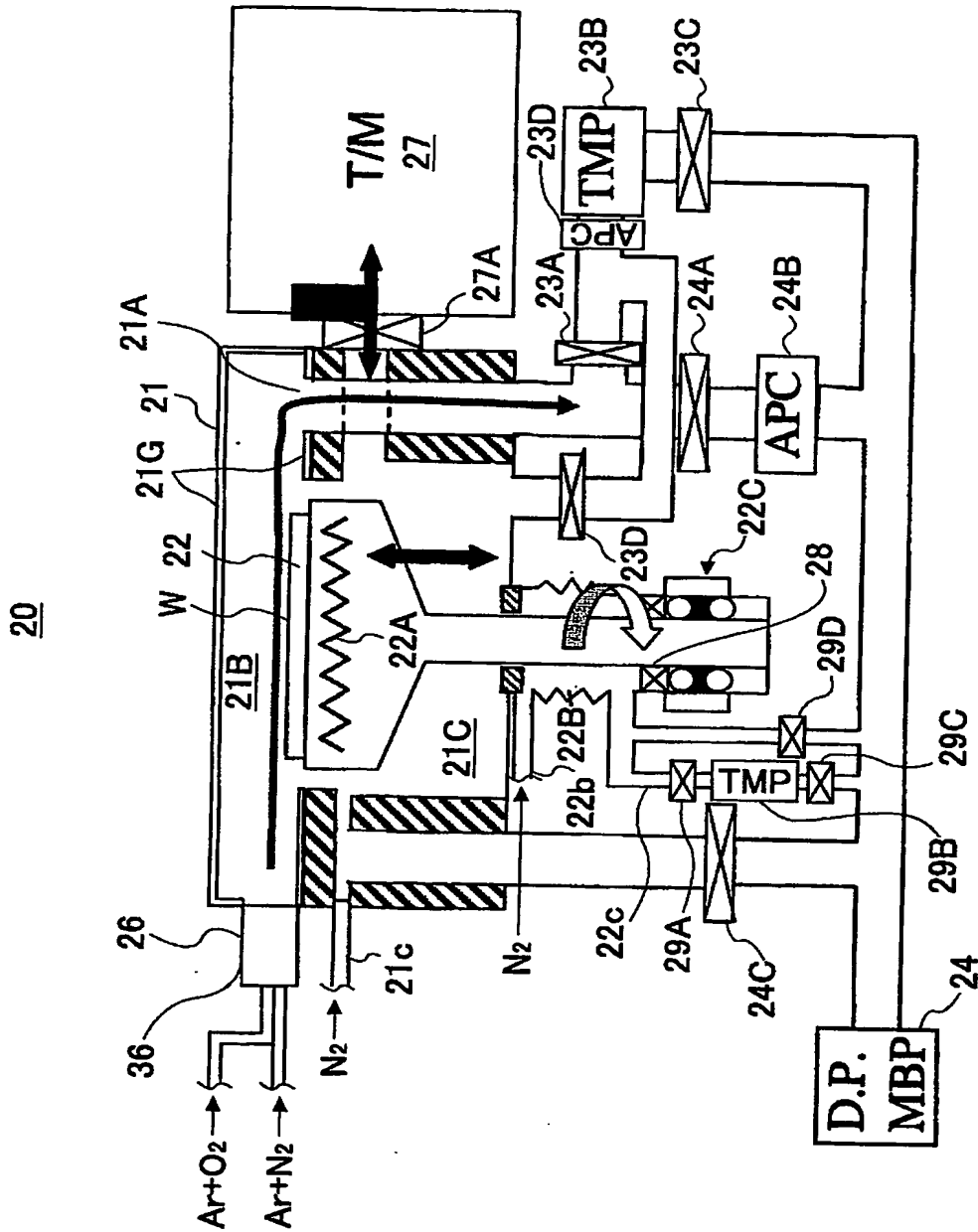
【図 2】



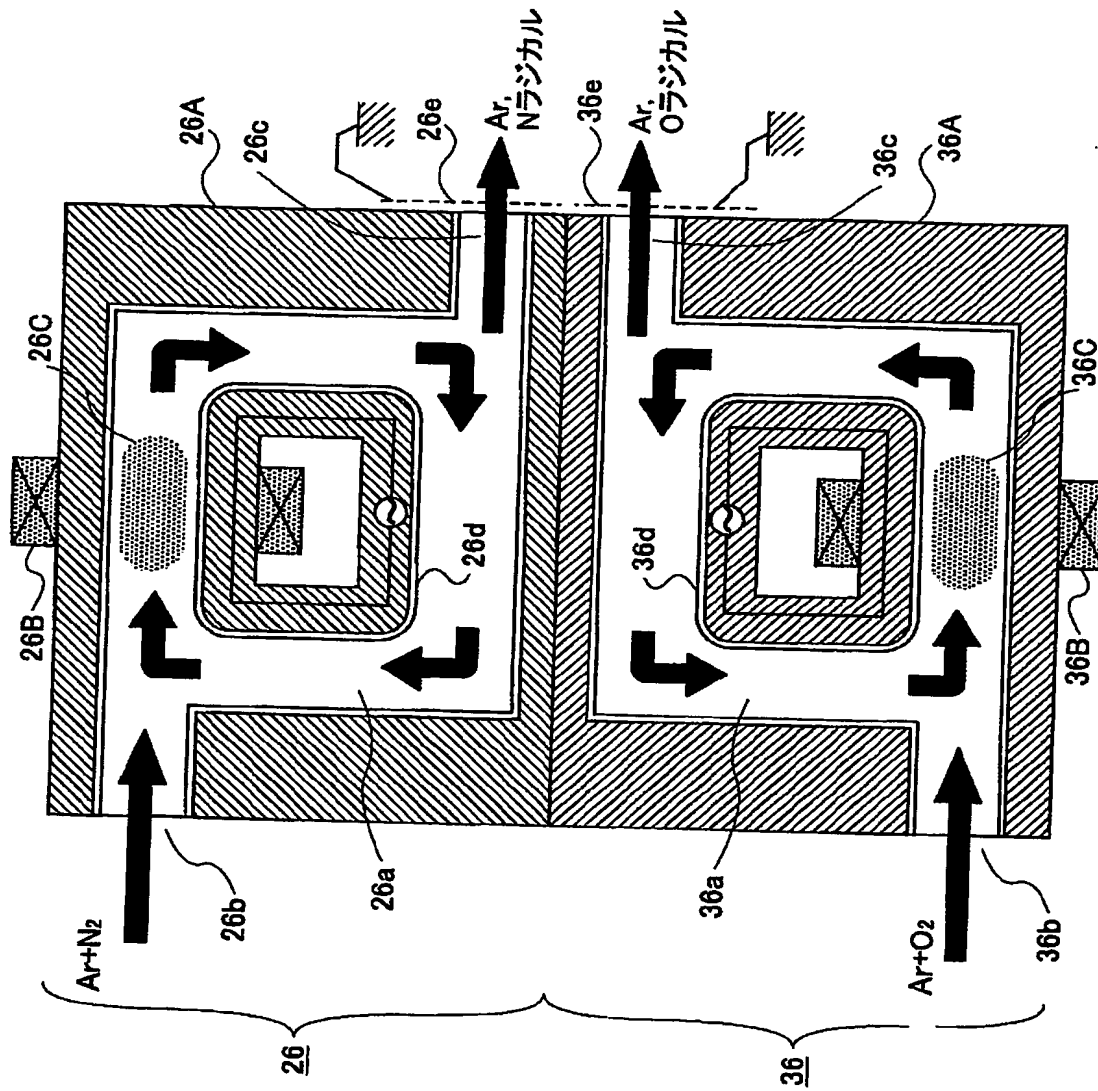
【図 3】



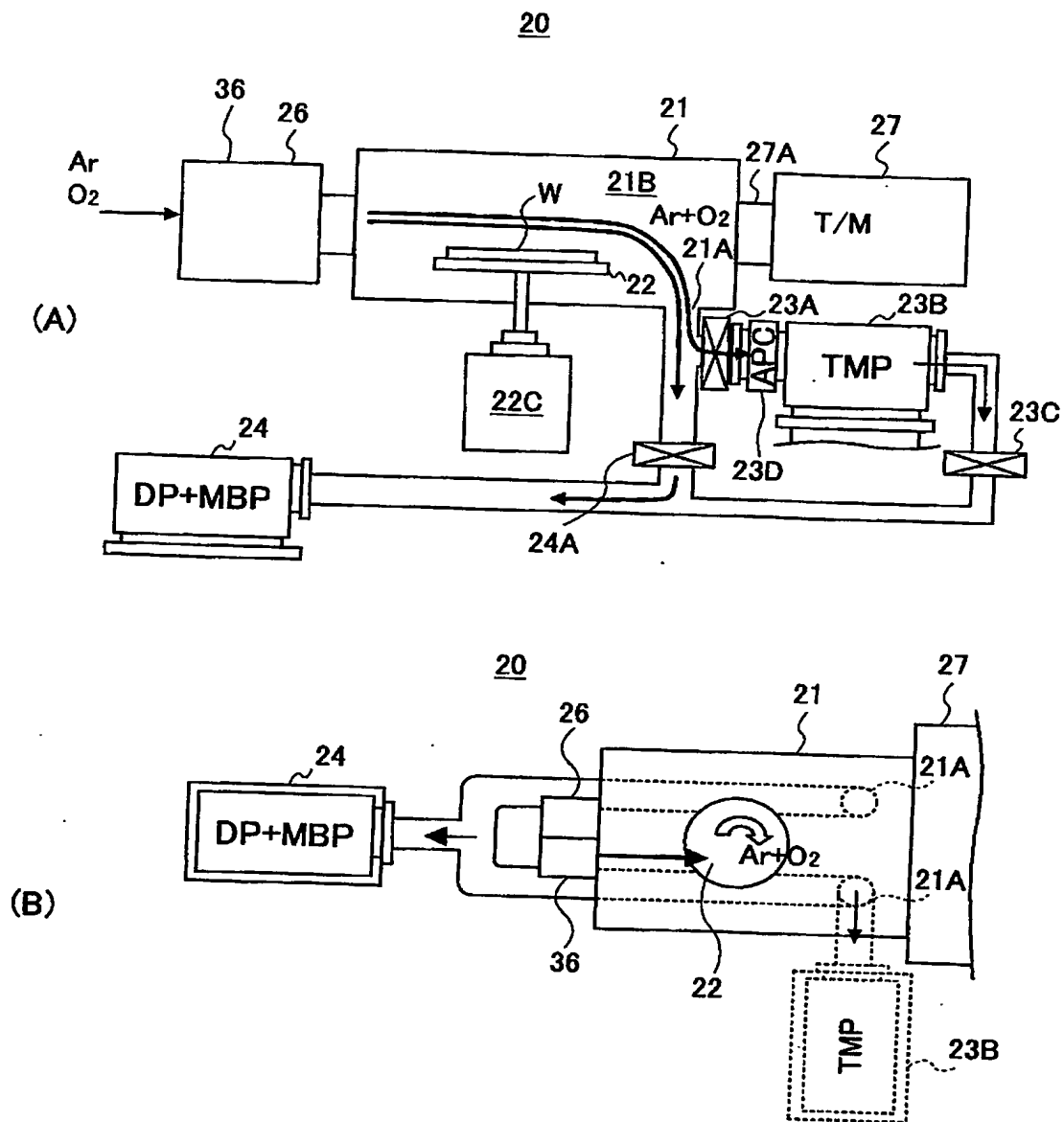
【図 4】



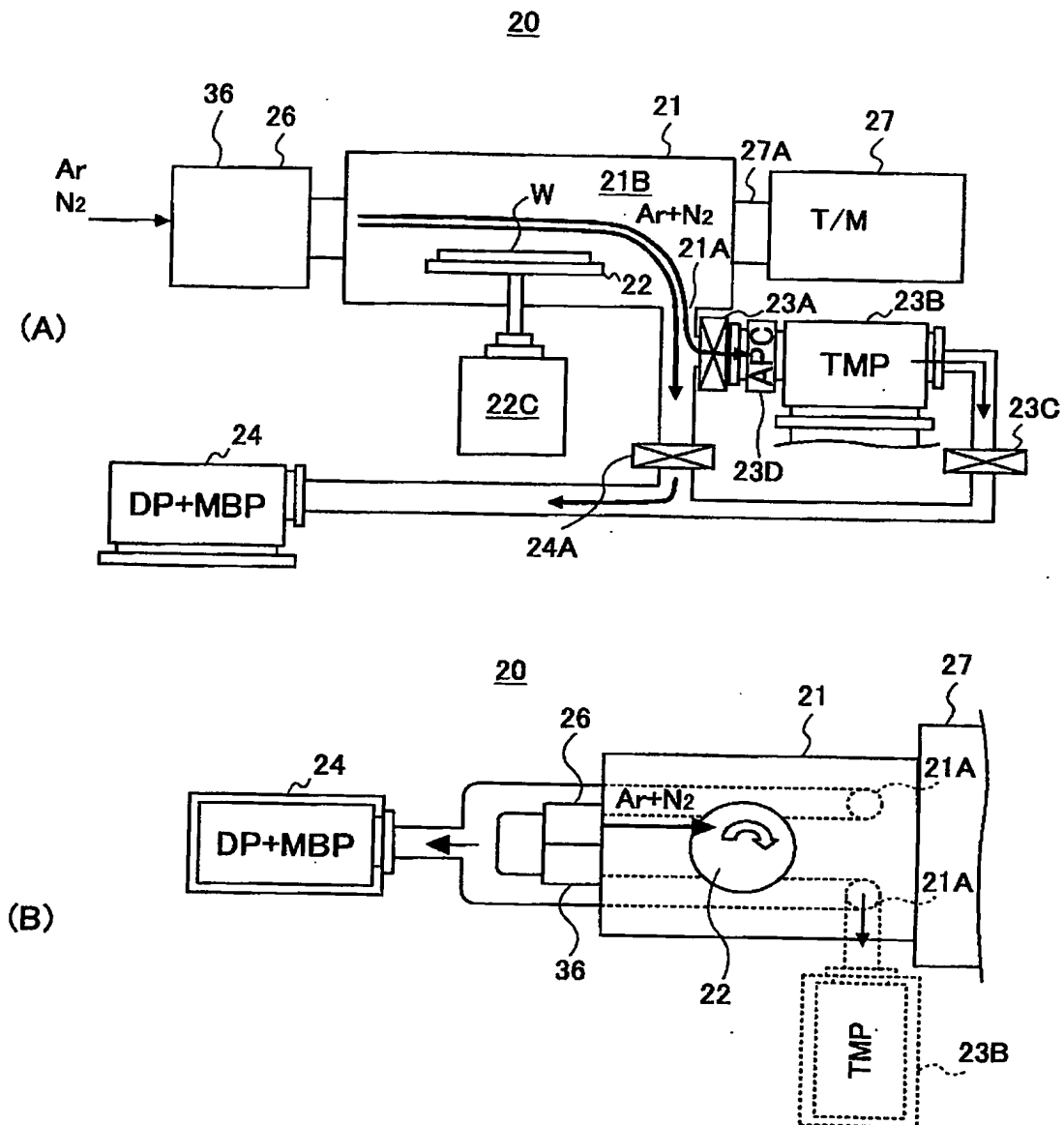
【図5】



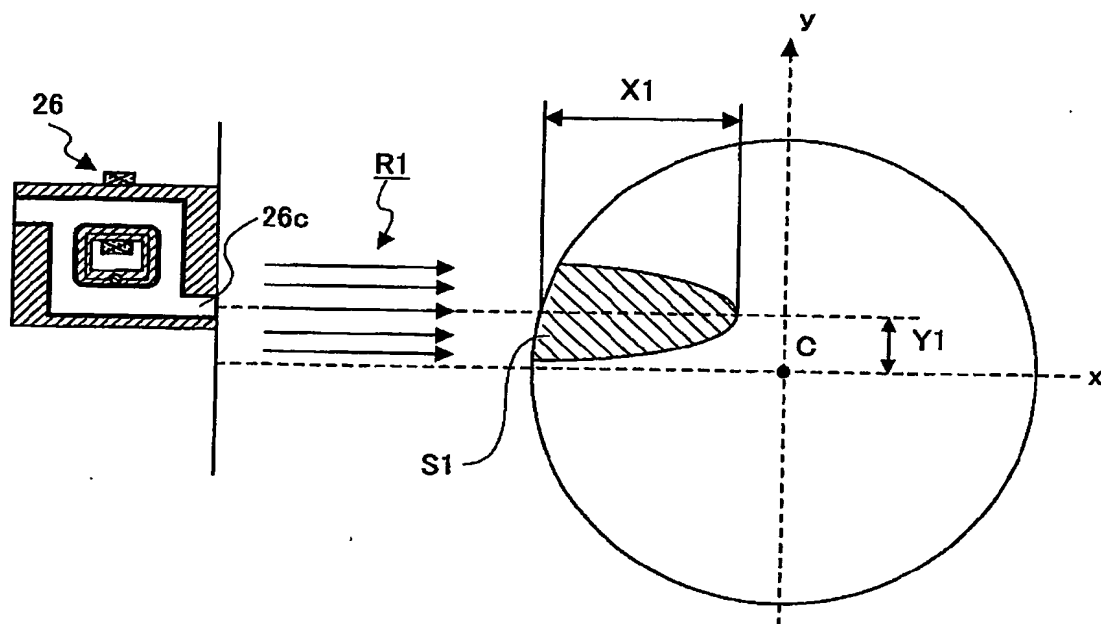
【図 6】



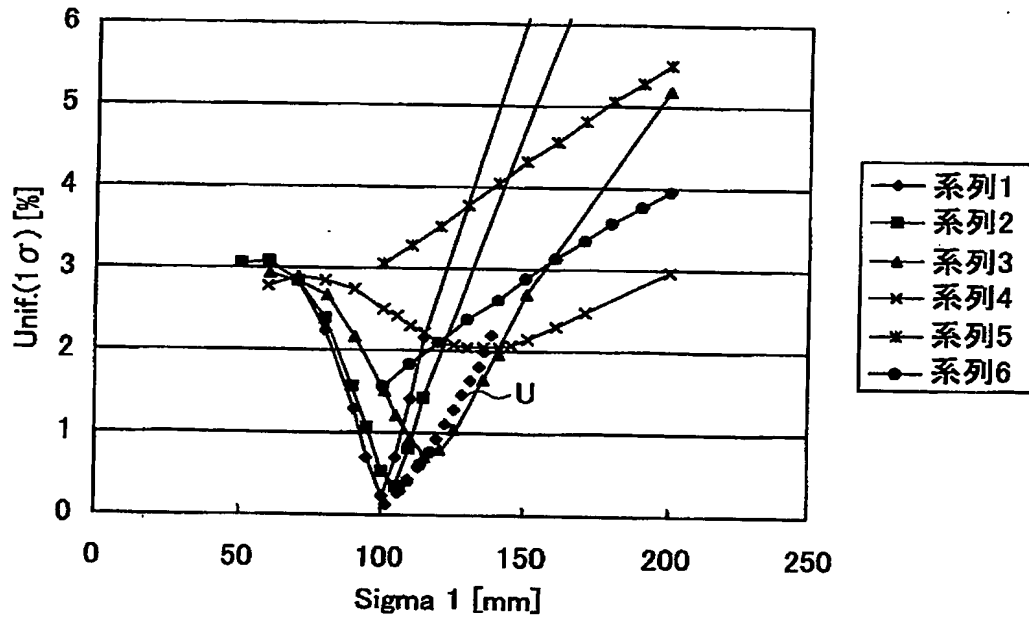
【図 7】



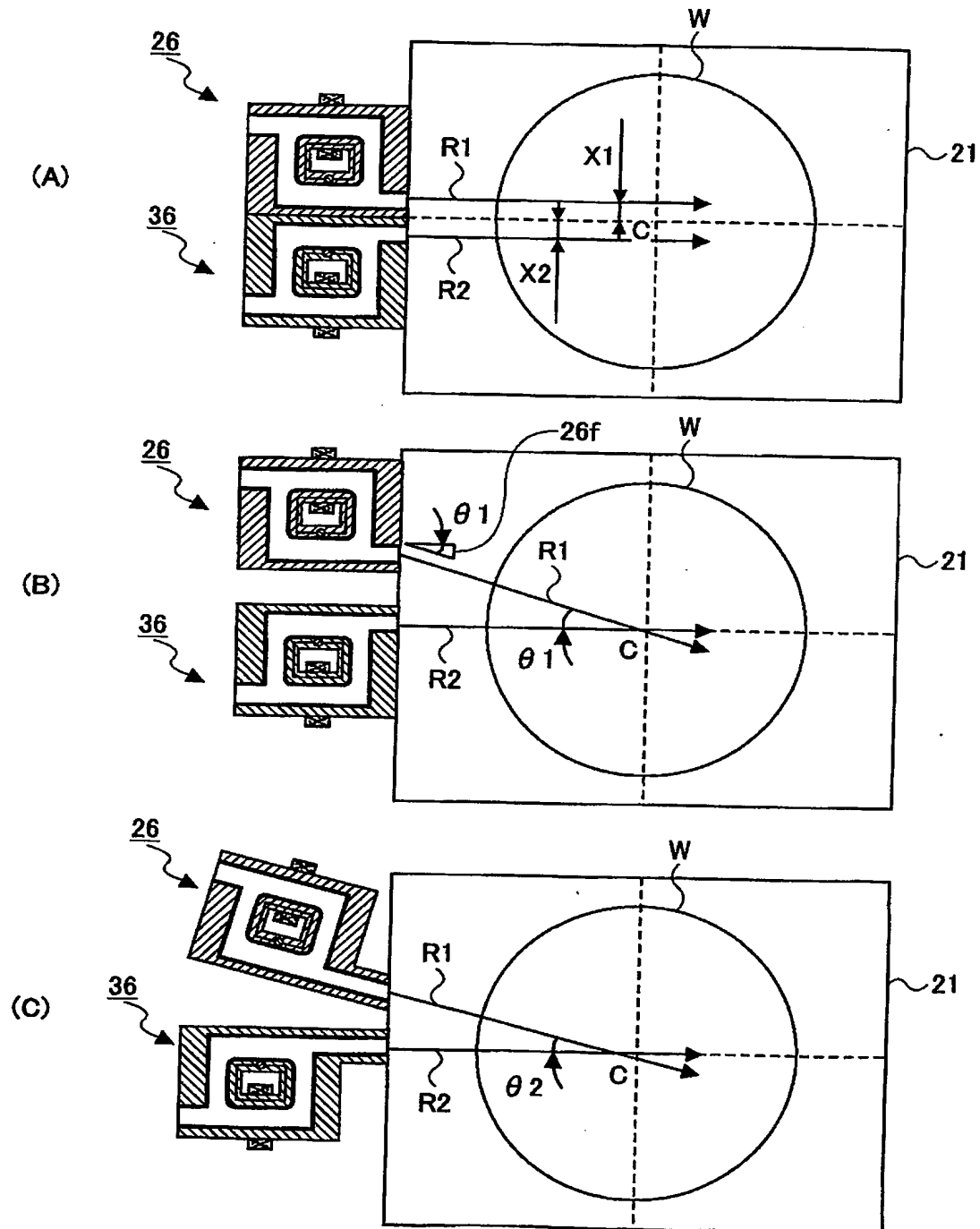
【図 8】



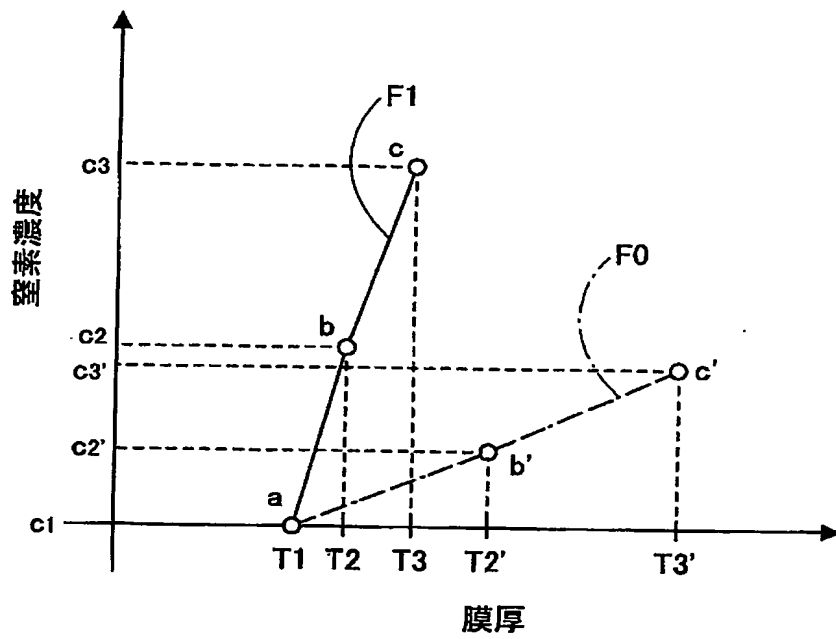
【図 9】



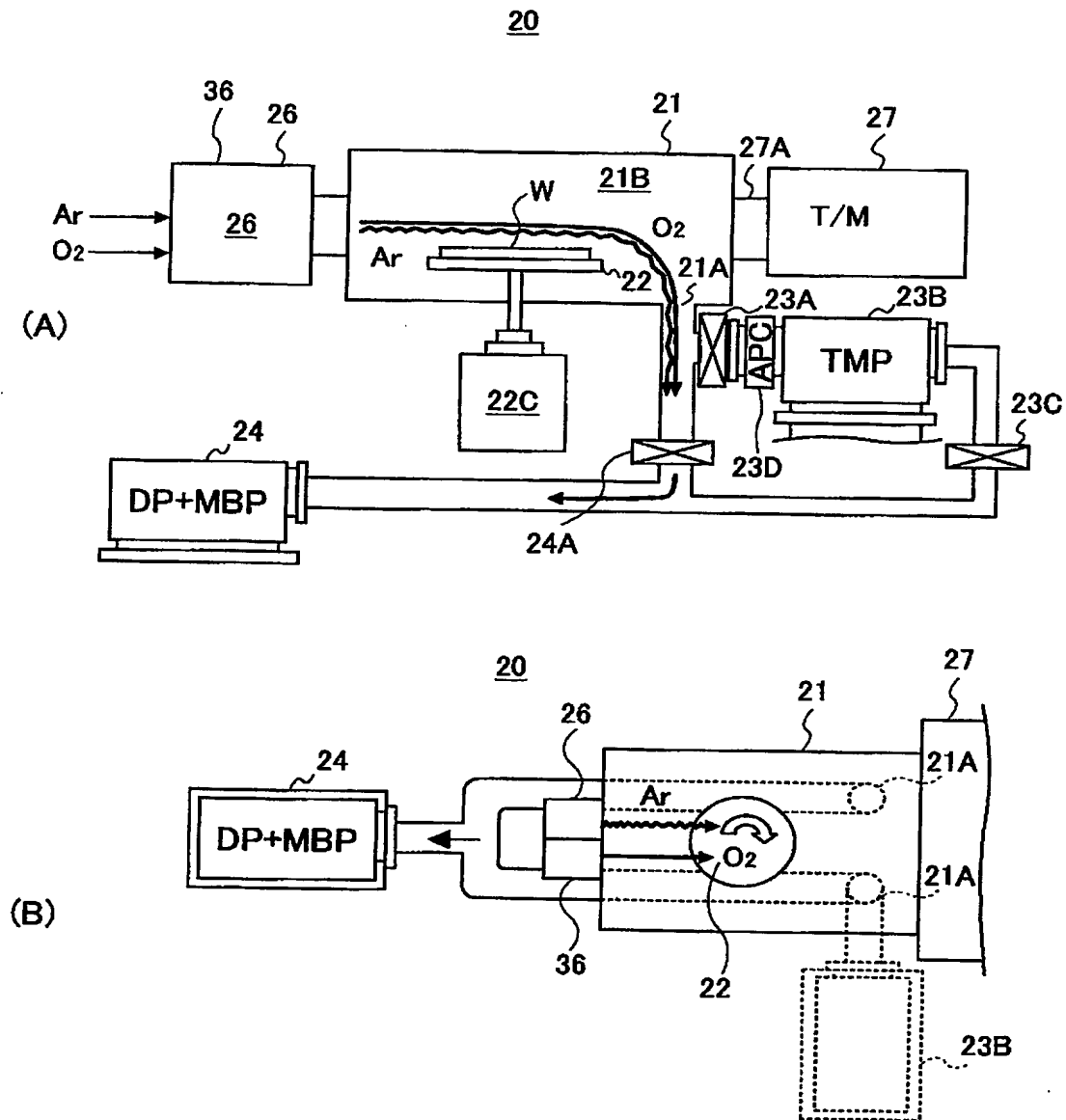
【図 10】



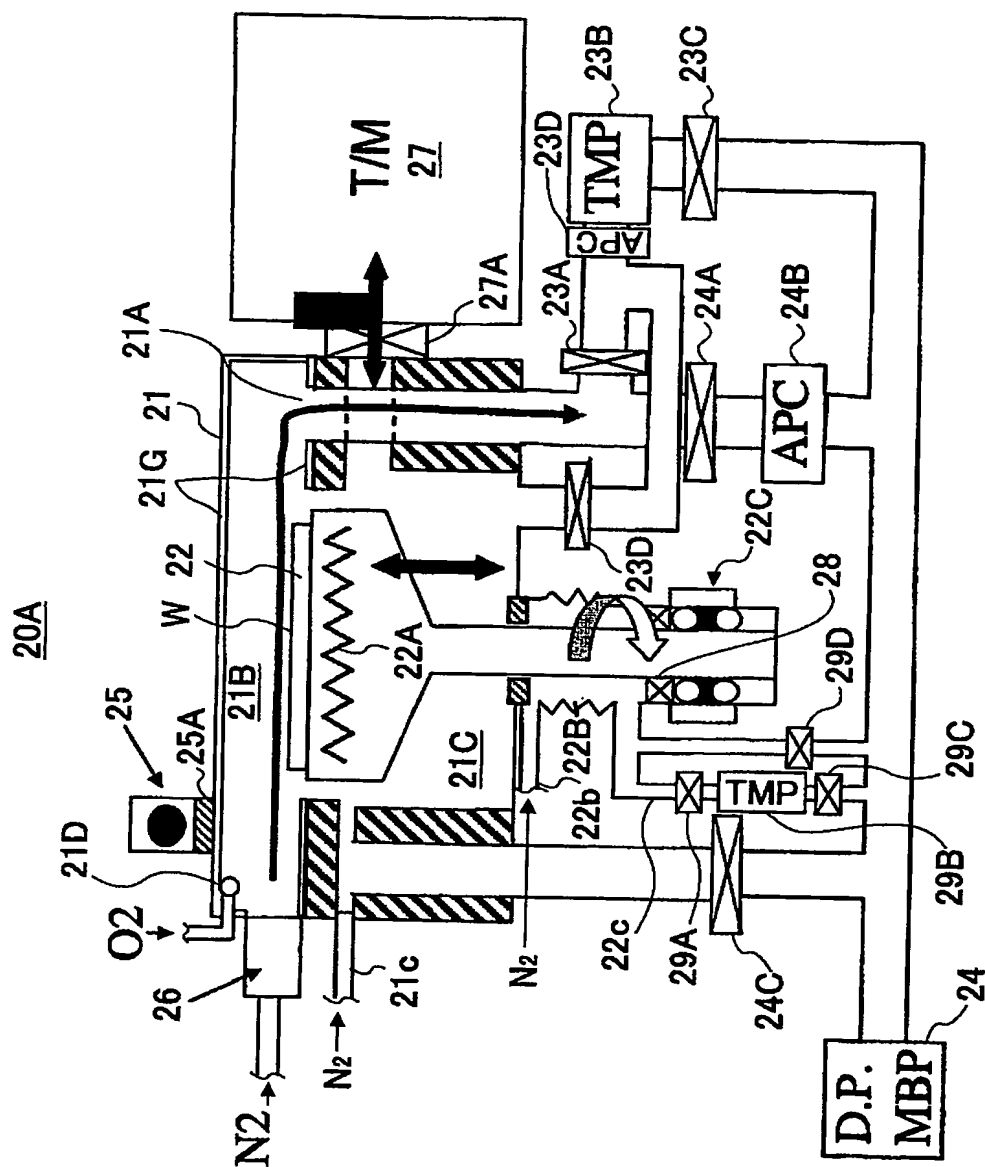
【図 11】



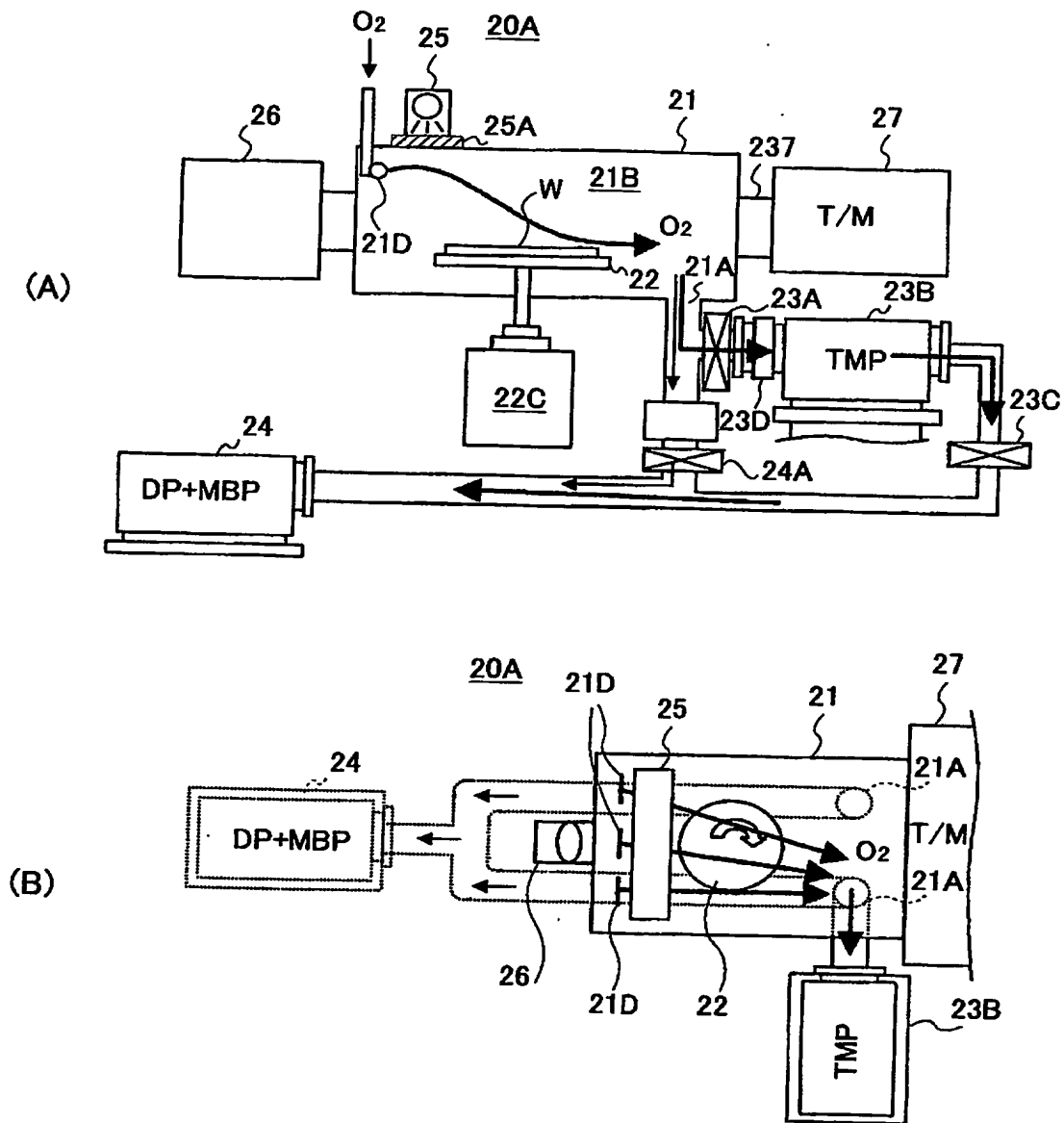
【図 12】



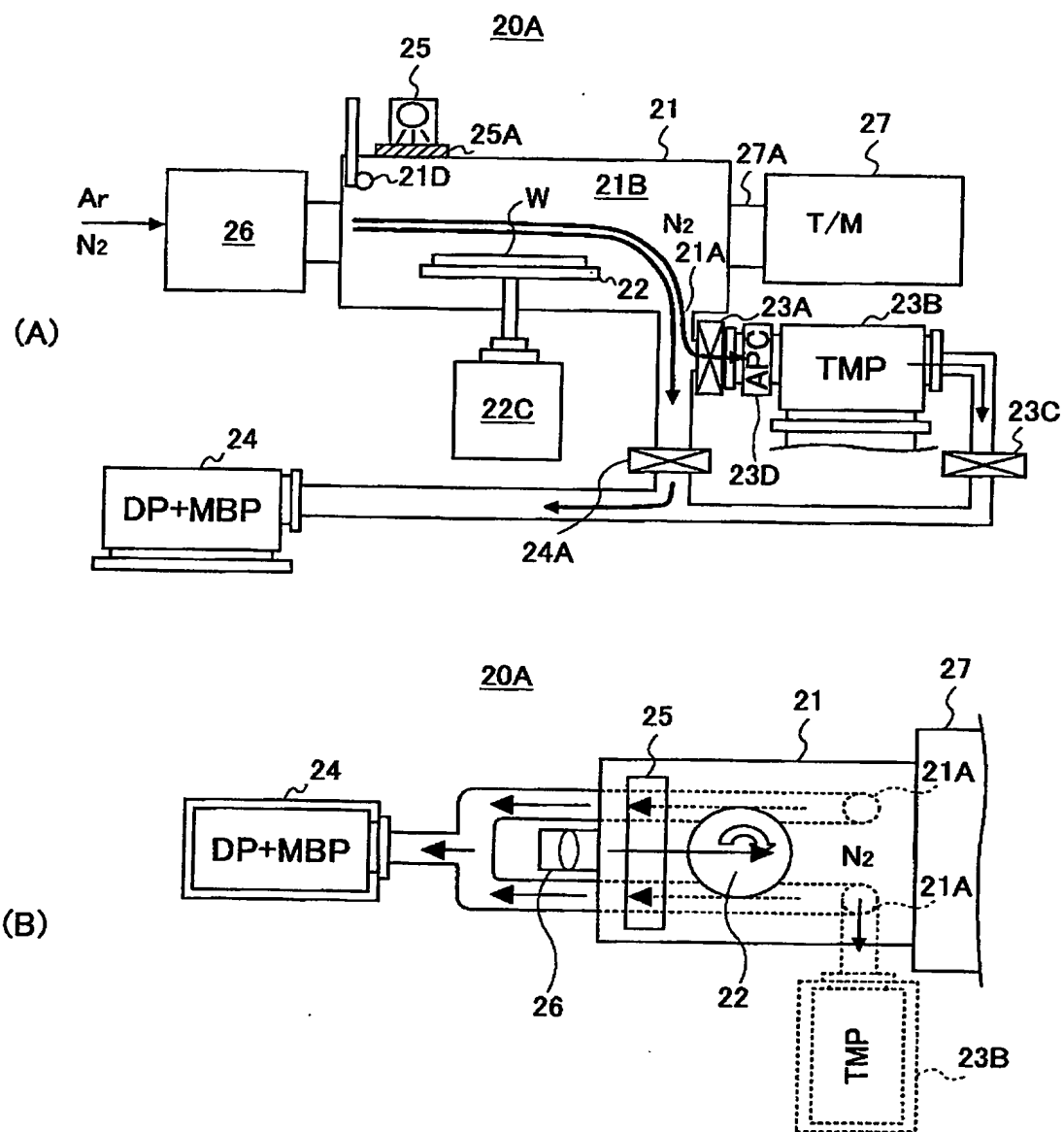
【図 13】



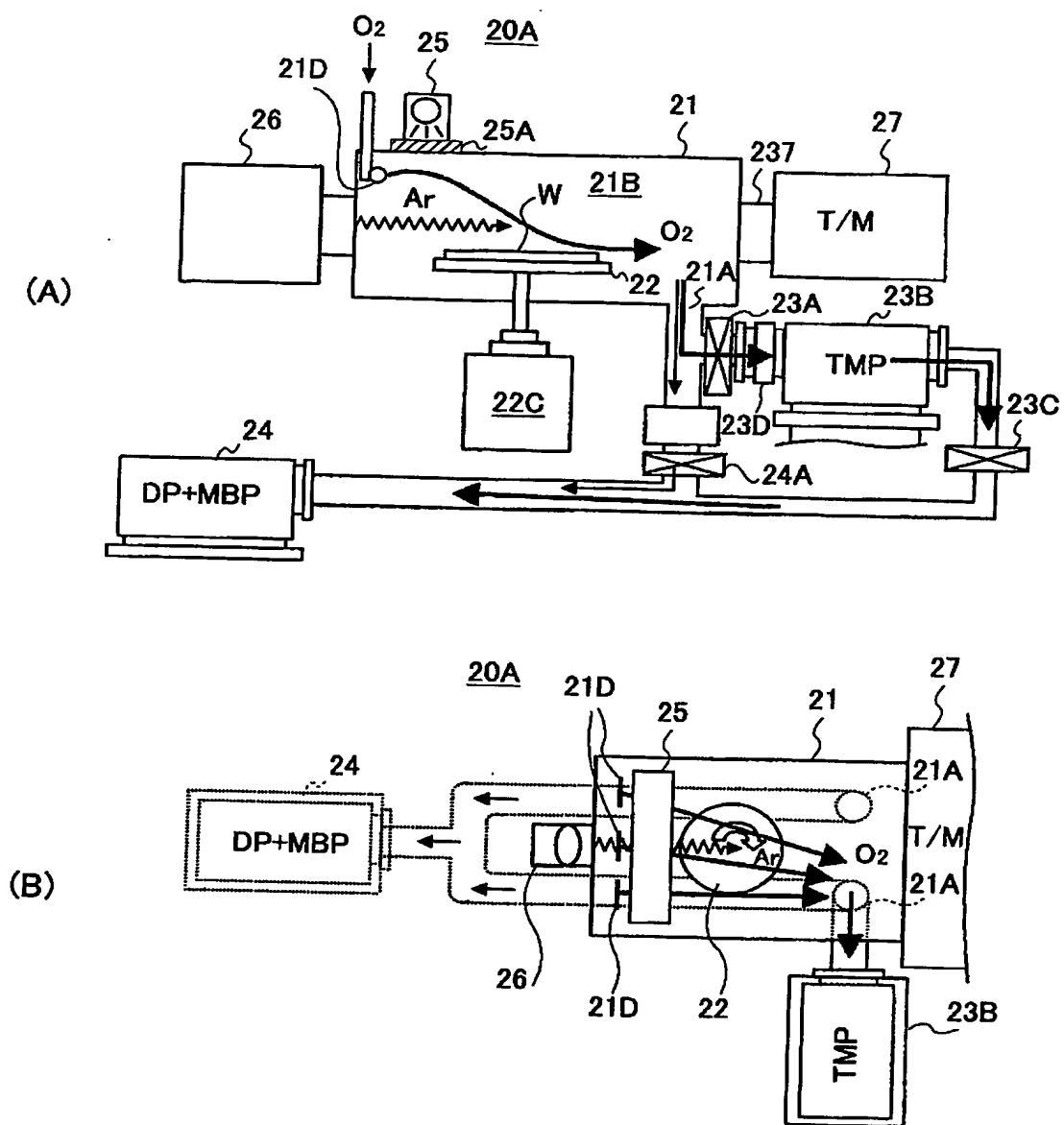
【図 14】



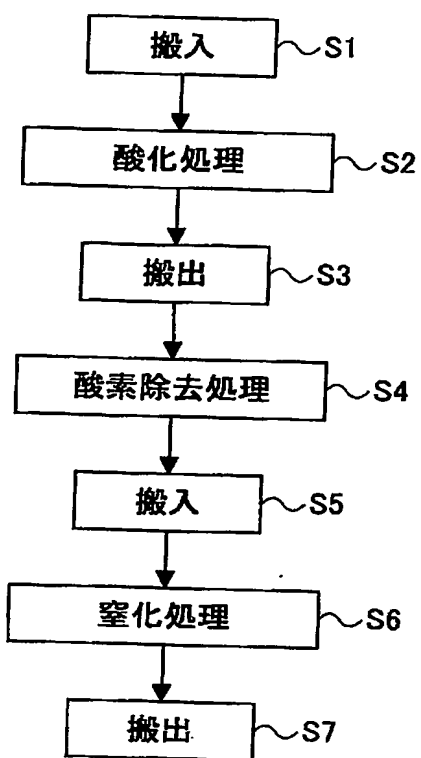
【図 15】



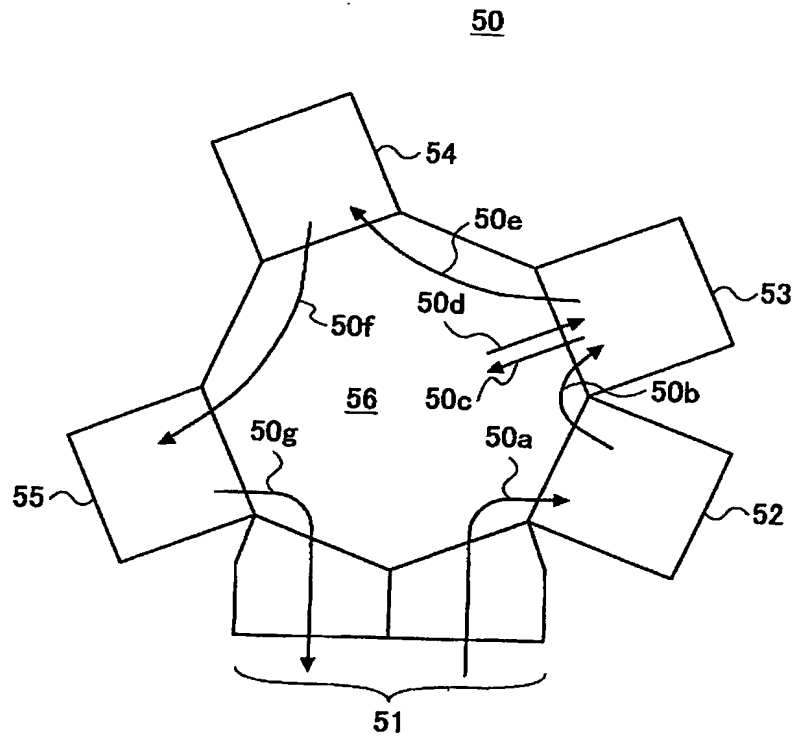
【図 16】



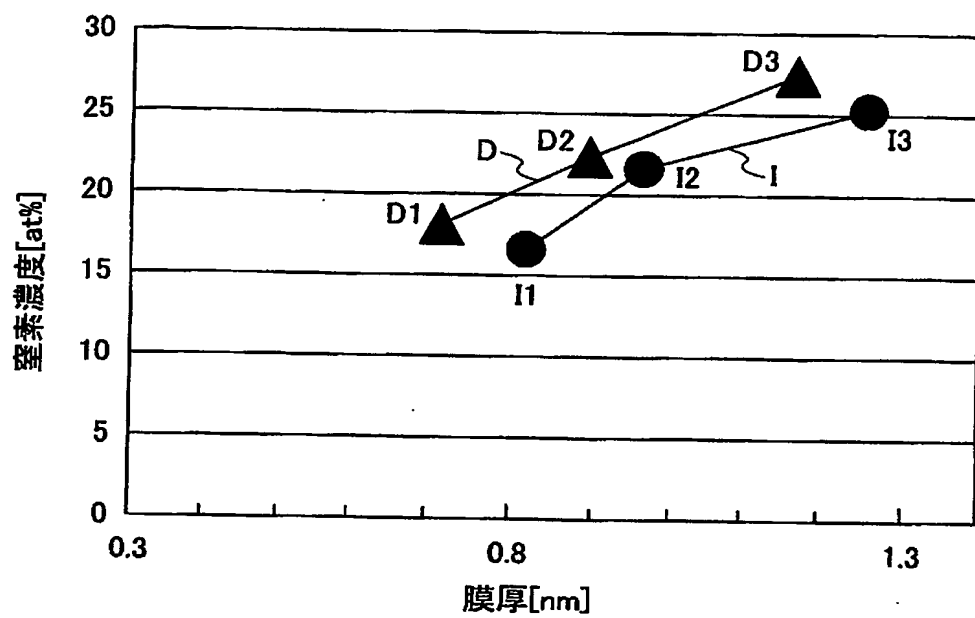
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 非常に薄い、膜厚が0.4 nmあるいはそれ以下の酸化膜、酸窒化膜を増膜を最小限に抑制して効率よく窒化できる窒化方法を提供する。

【解決手段】 酸素ラジカル形成機構によって酸素ラジカルを形成し、形成された酸素ラジカルで、シリコン基板を酸化してシリコン基板上に酸化膜を形成し、さらに窒素ラジカル形成機構で窒素ラジカルを形成して、前記酸化膜膜表面を窒化して酸窒化膜を形成する。

【選択図】

図 4

特願 2003-072650

出願人履歴情報

識別番号

[000219967]

1. 変更年月日 1994年 9月 5日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区赤坂5丁目3番6号
氏 名 東京エレクトロン株式会社
2. 変更年月日 2003年 4月 2日
[変更理由] 住所変更
住 所 東京都港区赤坂五丁目3番6号
氏 名 東京エレクトロン株式会社